

PGS.TS. NGUYỄN PHƯƠNG
ThS. NGUYỄN THỊ PHƯƠNG GIANG

CƠ SỞ TỰ ĐỘNG HOÁ trong ngành cơ khí



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

PGS.TS. Nguyễn Phương, Th.S. Nguyễn Thị Phương Giang

CƠ SỞ TỰ ĐỘNG HÓA TRONG NGÀNH CƠ KHÍ

(Giáo trình cho sinh viên chế tạo máy các trường đại học)

IN LẦN THỨ NHẤT



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2005

Tác giả: PGS.TS. Nguyễn Phương
ThS. Nguyễn Thị Phương Giang

<i>Chịu trách nhiệm xuất bản:</i>	PGS.TS. Tô Đăng Hải
<i>Biên tập và sửa chế bản:</i>	Nguyễn Diệu Thuý
<i>Trình bày và chế bản:</i>	Quang Hùng
<i>Vẽ hình:</i>	Phạm Văn Tước
<i>Vẽ bìa:</i>	Đỗ Thịnh

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

Hà Nội 2005

In 600 cuốn khổ 19 x 27 cm tại Xí nghiệp in Thương mại
Giấy phép số 25-1288 do Cục xuất bản cấp ngày 9 tháng 8/2005.
In xong và nộp lưu chiểu năm 12/2005.

LỜI NÓI ĐẦU

Vấn đề cơ khí hóa và tự động hóa ở nước ta hiện nay đã trở nên cấp bách, vì đó là nội dung đặc biệt quan trọng trong công cuộc cách mạng khoa học kỹ thuật nhằm tăng năng suất lao động để phát triển nhanh nền kinh tế nước ta đuổi kịp các nước tiên tiến trong khu vực.

Muốn làm tốt vấn đề trên cần có một đội ngũ cán bộ khoa học kỹ thuật đông đảo và lành nghề, được trang bị đầy đủ những kiến thức sâu, rộng về lý thuyết cơ sở tự động hóa, làm nền tảng cho việc cơ khí hóa và tự động hóa trong ngành chế tạo máy của nước ta.

Cuốn Cơ sở tự động hóa trong ngành cơ khí bao gồm:

Phần I. Lý thuyết về điều khiển tự động.

Phần II. Lý thuyết về điều chỉnh tự động.

Phần III. Cơ khí hóa và tự động hóa tiến lên đường dây tự động.

Phần IV. Bài tập ứng dụng.

Đây là tài liệu đã qua giảng dạy của Khoa Chế tạo máy Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đặc biệt là phần: "Bảng tổng kết các loại cấp phối trên thế giới".

Chúng tôi đã tổng kết, sắp xếp phân loại cố gắng sao cho thuận tiện cho người sử dụng.

Tài liệu này còn có thể sử dụng cho các cán bộ công tác trong lĩnh vực cơ khí hóa và tự động hóa trong chế tạo máy. Đây là tài liệu đã được cải tiến lần thứ 3, nhưng không tránh khỏi một số sai sót chúng tôi rất cảm ơn và mong nhận được các ý kiến góp ý của bạn đọc và đồng nghiệp.

Các ý kiến xin gửi về Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 70 Trần Hưng Đạo, Hà Nội.

CÁC TÁC GIẢ

PHẦN 1. ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

Chương 1

NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

1.1. LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN

Điều khiển học là ngành khoa học nghiên cứu những hệ thống có bản chất khác nhau, có khả năng thu nhận, lưu trữ, biến đổi và sử dụng thông tin để điều khiển và điều chỉnh. Nó nghiên cứu những nguyên tắc thành lập hệ tự động và những quy luật của các quá trình xảy ra trong hệ thống. Nhiệm vụ chính của ngành khoa học này là xây dựng những hệ tự động tối ưu và gần tối ưu bằng những biện pháp kỹ thuật, đồng thời nghiên cứu các vấn đề thuộc về tĩnh học và động học của các hệ thống đó.

Từ xa xưa, con người đã có những ý niệm về điều khiển tự động ở dạng các đồ chơi, khoảng thế kỷ thứ III-IV trước Công nguyên, D. Phatereous đã chế tạo ra con sên biết bò. Đến thế kỷ thứ I, bạo chúa Hêron ở thành Alecxandria đã sáng chế ra những con rối biết múa, con chim biết hát. Gần 1000 năm về trước, vua Lý Nhân Tông đã cho làm một con rùa vàng, biết bơi, mồm phun nước, mắt biết liếc nhìn, trong những buổi đua thuyền diễu qua điện Linh Quang ở Thăng Long. Năm 1767 nhà cơ khí người Nga I. P. Kulibin đã chế tạo một chiếc đồng hồ hình quả trứng, ngoài việc biết chỉ giờ, đánh chuông, chiếc đồng hồ này còn trình diễn một màn múa rối sau mỗi giờ. Đặc biệt nhất là con búp bê của Pierre Jaquet Droz nó biết lắc đầu, giơ tay và có thể viết được tên của mình. Sau đó các cơ cấu tự động bắt đầu phục vụ cho sản xuất, chánh thanh tra Jacque De Vaucanson trong công nghiệp lụa của Pháp đã sáng chế ra máy dệt tự động điều khiển go bằng trống đục lỗ. Năm 1776 kỹ sư người Nga I. I. Pozunov đã chế tạo bộ điều chỉnh mực nước nổi hơi. Năm 1784, J. Watt đã phát minh bộ điều tốc con lắc ly tâm để điều chỉnh máy hơi nước. Sau đó kỹ thuật điều khiển tự động đã phát triển rất mạnh vào cuối thế kỷ thứ XIX với công trình nổi tiếng vào năm 1877 của I. A. Visnhegrat, Routh (1778) và Herwitz (1895).

Những năm đầu của thế kỷ XX, kỹ thuật điều khiển tự động đã được sử dụng

rộng rãi trong các lĩnh vực quân sự như không quân, thủy quân, tên lửa, du hành vũ trụ, v.v... Người đặt nền móng cho lý thuyết điều khiển tự động của tàu thủy vào những năm 20 của thập kỷ này là Minorsky. Vào năm 1917, O. Block đã sử dụng lý thuyết vectơ và hàm biến vào việc nghiên cứu lý thuyết tự động. Với phương pháp này Nyquist (1932) và Mikhailôp (1938) là những người đã tìm ra các tiêu chuẩn ổn định của hệ tuyến tính bằng phương pháp đồ thị. Các định đề và phương pháp khảo sát độ ổn định các hệ phi tuyến của A. M. Liapunôv, các công trình của Pontriagin, v.v. là những nguyên lý cơ bản của lý thuyết điều khiển tự động cho các hệ phi tuyến. Brown và Hall đã dùng các hệ phương trình vi phân để tiếp tục phát triển phương pháp trên và còn đề ra "Quá trình chuyển tiếp" nhằm nghiên cứu trạng thái của hệ thống và đề ra các phương pháp thiết kế các cơ cấu điều khiển. Năm 1938, Bode đã đưa ra mối quan hệ chặt chẽ giữa các đường đặc tính tần số pha và đề ra các công thức tổng quát để giải quyết các nhiệm vụ điều khiển.

Trong chiến tranh thế giới lần thứ hai đã tạo nên các yêu cầu lớn trong lĩnh vực thiết kế hệ thống tự động. Từ năm 1941 và 1943 Haria và Hall đã ứng dụng phương pháp phân tích hàm biến phức của Nyquist để thiết kế và phân tích các hệ thống điều khiển. Từ năm 1941 đến 1945 Bomberger, Weber, Nichols và Bode đã đưa vào ứng dụng lý thuyết liên quan đến độ giảm chấn và góc lệch pha của Bode, tạo nên phương pháp đơn giản hơn để thiết kế các hệ thống điều khiển. Cũng trong thời gian này Weiner, Phillips và Hall cũng đã nghiên cứu các tác động của nhiễu. Nhóm này cũng đã tìm những tiêu chuẩn để đánh giá hoạt động tối ưu của một hệ thống dưới tác dụng đồng thời của tín hiệu ở đầu vào có xét đến ảnh hưởng của nhiễu. Camôgôrôv và Bellman đã đưa ra hệ thống tối ưu. Sau đó Xupkin và Cooper đã đưa ra hệ tự thích nghi và đã được nhiều nước ứng dụng.

Hiện nay điều khiển tự động đã trở thành một bộ phận không thể thiếu được trong quá trình sản xuất của các ngành như: chế tạo máy, luyện kim, công nghiệp nhẹ, hóa chất cho đến ngành hàng không và du hành vũ trụ, v.v. Với việc phát triển máy vi tính như hiện nay thì phạm vi ứng dụng điều khiển tự động càng được mở rộng, chất lượng điều khiển càng được hoàn thiện nhằm đạt đến một trình độ cao hơn để thực hiện hai mục tiêu của tự động hóa là: *giải phóng con người khỏi những công việc nặng nhọc và đơn điệu, thay con người điều khiển các quá trình sản xuất tổng hợp và hiện đại vượt quá khả năng thể chất của con người.*

1.2. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Chúng ta biết rằng đặc trưng cơ bản nhất của con người trong hoạt động sản xuất là luôn luôn hành động, tác động vào quá trình sản xuất có mục đích. Bản chất

vật chất của các quá trình sản xuất là con người biến đổi vật chất, năng lượng từ dạng không giá trị sử dụng sang dạng cần thiết cho con người. Để đạt được mục đích đó, con người cần có nguyên vật liệu, năng lượng ban đầu và công cụ sản xuất. Tuy nhiên ba yếu tố trên không đủ để tạo nên quá trình sản xuất mà cần tạo thêm một yếu tố nữa, đó là công cụ sản xuất phải tác động lên nguyên vật liệu, năng lượng theo những trình tự và qui luật nhất định nào đó, tức là con người phải xác định phương thức tác động của công cụ sản xuất, gắn liền với nó là phương thức hoạt động của chính bản thân con người trong sản xuất. Từ đó con người có thể xác định được phương thức tác động của công cụ sản xuất có mục đích phù hợp với qui luật tự nhiên. Phương thức này được gọi là qui trình sản xuất.

Để nắm được những qui luật điều khiển ta cần biết những khái niệm (KN) cơ bản sau:

KN1. Điều khiển là sự tác động có mục đích vào một đối tượng nhất định.

KN2. Điều khiển học là các khoa học về các qui luật, phương pháp và phương tiện điều khiển.

Điều khiển học bao gồm: điều khiển học kỹ thuật, điều khiển học quân sự, điều khiển học sinh học, v.v. Trong đó, điều khiển học kỹ thuật trùng với tự động học, là ngành khoa học phát triển nhất hiện nay, do đó ta chỉ đề cập đến điều khiển học kỹ thuật.

Điều khiển học (cybematic) bắt nguồn từ tiếng Hy Lạp có nghĩa là “nghệ thuật điều khiển”. Nó được nhà hóa học Pháp A. M. Apere sử dụng đầu tiên vào năm 1834 để chỉ các khoa học điều khiển xã hội loài người mà lúc đó khoa học này chưa ra đời. Đến năm 1984, nhà toán học Mỹ N. Wiener đã sử dụng lại khái niệm này trong tác phẩm “Điều khiển học hay điều khiển thông tin trong cơ thể sống và máy móc”.

Như ta đã biết, trong quá trình biến đổi vật chất từ dạng này sang dạng khác, con người đã thực hiện hai bộ phận chức năng: nguồn năng lượng và công cụ sản xuất. Nguồn năng lượng là sức của cơ bắp để kéo xe, đập búa, v.v. Công cụ sản xuất là bàn tay để cày ruộng, dệt vải, v.v. Khi dùng máy hơi nước, động cơ đốt trong để giải phóng bắp thịt, dùng máy cày, máy dệt để giải phóng đôi tay con người đã tự giải phóng mình khỏi chức năng làm nguồn năng lượng và công cụ sản xuất. Quá trình dùng máy móc để giải phóng con người khỏi hai chức năng này là nội dung của cơ khí hóa. Khi đã cơ khí hóa, con người vẫn còn chức năng quan sát, so sánh kiểm tra sự diễn biến của quá trình sản xuất và khi cần thiết, con người sẽ tác động ngược lại để duy trì một qui trình đã cho. Đây chính là nội dung chức năng điều khiển của con người trong quá trình sản xuất. Dùng máy móc để thay thế con người trong quá trình điều khiển được gọi là điều khiển tự động. Nó là nội dung đầu tiên

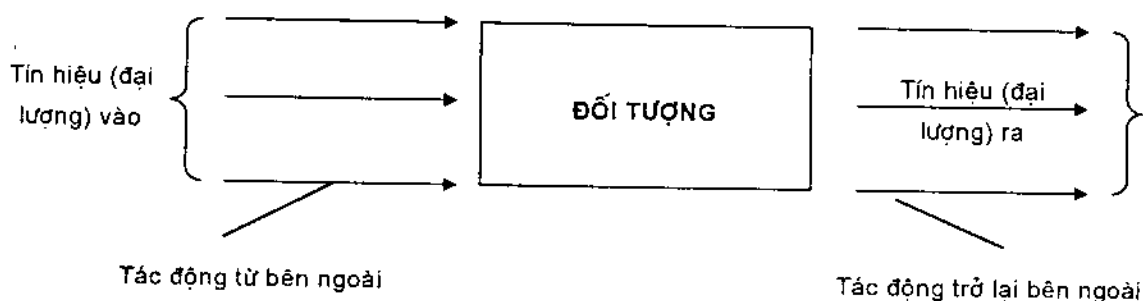
của tự động hóa. Với sự phát triển của điều khiển học và tự động hóa con người dần dần đã chế tạo được các loại máy móc có thể đảm nhận chức năng xác định quá trình sản xuất, đây là mức độ thứ hai của tự động hóa. Đặc biệt với sự phát triển của máy tính điện tử, việc xác định mục tiêu cụ thể của quá trình sản xuất (sản phẩm cần sản xuất, số lượng cần bao nhiêu) cũng do máy thực hiện, đây là mức độ thứ ba của tự động hóa.

KN3. Tự động hóa là quá trình dùng máy móc thay thế con người (từng phần hay toàn bộ quá trình) thực hiện chức năng điều khiển quá trình sản xuất, chức năng xác định quá trình sản xuất và chức năng xác định mục tiêu cụ thể của quá trình sản xuất. Các mức độ tự động hóa sẽ ngày càng cao và phức tạp hơn nữa, nhưng khi đó, con người sẽ càng khéo léo hơn, thông minh hơn, vì chính họ là người sáng tạo ra những máy móc phức tạp, khéo léo và thông minh này.

KN4. Hệ thống là tập hợp các đối tượng mà giữa chúng có những mối quan hệ với nhau. Khi đối tượng chịu tác động của một đối tượng bên ngoài, nó sẽ tạo nên những biến đổi tương ứng và những biến đổi này có thể tác động trở lại môi trường bên ngoài. Những biến đổi bên trong và tác động trở lại bên ngoài sẽ được gọi là phản ứng của đối tượng.

KN5. Hành vi của đối tượng là tổng các quan hệ của mọi tác động bên ngoài vào đối tượng và các phản ứng của nó.

KN6. Các tác động bên ngoài vào đối tượng được gọi là đại lượng vào hay tín hiệu vào. Sự tác động trở lại bên ngoài của đối tượng và những biến đổi bên trong có thể trực tiếp quan sát, ghi nhận được gọi là đại lượng ra hay tín hiệu ra. Sơ đồ tổng quát nêu trên hình 1.1.



Hình 1.1. Cách thể hiện tín hiệu (hay đại lượng) vào và ra.

KN7. Hệ thống điều khiển là một hệ thống mà ở đó con người và thiết bị cùng điều khiển một đối tượng.

KN8. Một hệ thống mà hành vi hoặc các đại lượng ra của nó cần tuân theo các qui định cho trước, được gọi là hệ thống điều khiển. Cần chú ý: trong một số trường hợp hệ thống được điều khiển cũng có thể gọi là hệ thống điều khiển.

KN9. Các qui định cho trước mà hành vi hoặc các đại lượng ra của hệ thống không cần tuân theo được gọi là mục tiêu điều khiển.

KN10. Nếu quan hệ giữa các đại lượng vào và ra của một đối tượng được xác định trực tiếp, không phải qua những đại lượng khác thì đối tượng đó được gọi là phần tử điều khiển. Ngoài ra phần tử điều khiển còn cho ta xác định được tín hiệu ra khi đã biết tín hiệu vào.

KN11. Cấu trúc của hệ thống là toàn bộ các mối quan hệ giữa các đối tượng để tạo nên một hệ thống.

KN12. Trạng thái của hệ thống là những giá trị nhất định tương ứng với thời gian tác động lên hệ thống, nó cùng với đầu vào để xác định hành vi tương lai của hệ thống.

KN13. Phản ánh là tính chất chung của vật chất vì các tác động từ bên ngoài vào bao giờ cũng gây ra những biến đổi ở sự vật đó.

KN14. Sự phản ánh một đối tượng, một quá trình theo một mục tiêu nhất định của con người là mô hình của đối tượng đó. Do đó một đối tượng có thể có nhiều mô hình khác nhau tùy theo mục đích lập mô hình của chúng ta.

KN15. Sự phản ánh về một đối tượng có ý nghĩa đối với mục tiêu điều khiển mà trước đó chúng ta chưa có, được gọi là thông tin. Nội dung của sự phản ánh được gọi là nội dung thông tin.

Từ đó ta thấy rằng giữa thông tin và mô hình có mối quan hệ chặt chẽ với nhau, chúng đều phản ánh có mục tiêu về một đối tượng nhất định. Sự phản ánh ở dạng mô hình thường mang tính toàn diện, hệ thống và tương đối ổn định hơn về đối tượng, còn phản ánh ở dạng thông tin thường mang tính cụ thể, từng mặt, thể hiện tính động của đối tượng.

KN16. Tín hiệu là sự thay đổi các đại lượng vật lý để thể hiện nội dung thông tin.

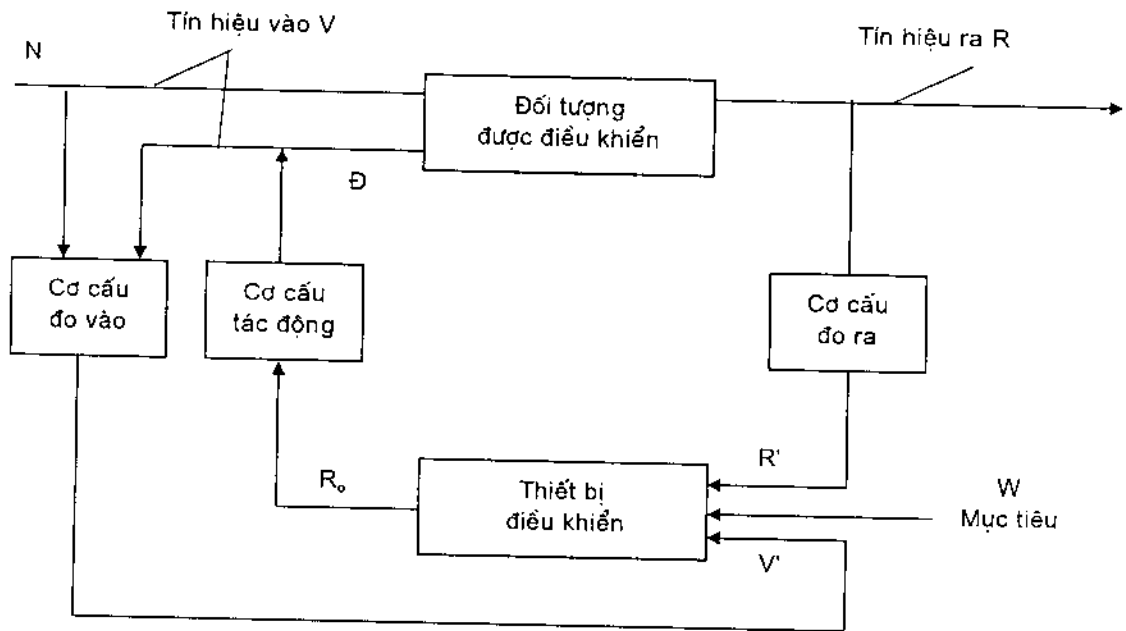
KN17. Quá trình là sự tiếp diễn các thay đổi hoặc các hoạt động.

Để điều khiển một đối tượng, một quá trình, hệ thống điều khiển bao giờ cũng có các thành phần, kết cấu và liên hệ với đối tượng được điều khiển như hình 1.2.

Các tín hiệu tác động vào đối tượng được điều khiển bao gồm tín hiệu nhiễu (N) và tín hiệu điều khiển (Đ).

KN18. Tín hiệu nhiễu (N) là những tín hiệu tác động vào đối tượng được điều khiển làm thay đổi hành vi hoặc tín hiệu ra của hệ, mà hệ thống điều khiển không thể làm cho chúng thay đổi được.

KN19. Tín hiệu điều khiển (\mathcal{D}) là các tín hiệu tác động vào đối tượng được điều khiển và làm thay đổi hành vi hoặc tín hiệu ra của hệ, mà hệ thống điều khiển không chế được sự thay đổi của chúng.



Hình 1.2. Sơ đồ tổng quát một hệ thống điều khiển

KN20. Cơ cấu tác động là thiết bị dùng để thay đổi các đại lượng điều khiển.

KN21. Tín hiệu tác động là tín hiệu tác dụng vào cơ cấu tác động làm cho tín hiệu điều khiển thay đổi một cách có ý thức.

KN22. Thiết bị xác định giá trị của một hay nhiều đại lượng (vào, ra) và phản ánh các đại lượng đó một cách có ý thức bằng các đại lượng vật lý khác được gọi là cơ cấu đo (vào, ra). Quá trình xác định và phản ánh giá trị như thế được gọi là quá trình đo lường.

Thông qua cơ cấu đo (hình 1.2) các tín hiệu ra được phản ánh qua các tín hiệu ra R . Thông thường hai đại lượng R và V có bản chất vật lý khác nhau. Các đại lượng nhiễu (N) và điều khiển (\mathcal{D}) được ký hiệu chung là V . Qua cơ cấu đo vào ta được ký hiệu V' . Thường bản chất vật lý của V' khác với V nhưng chúng tỷ lệ thuận với nhau.

Vì R tỷ lệ với R' và V tỷ lệ với V' nên chúng chỉ khác nhau với một hệ số chuyển đổi là một hằng. Do đó khi nói tới R' và V' ta thường hiểu đó là các đại lượng V và R . Các đại lượng V' và R' là phản ánh mới nhất của các đại lượng R và V . Do đó R' và V' là các thông tin về tín hiệu vào và ra. Bản thân V và R không phải là thông tin, nên cơ cấu đo vào, ra còn được gọi là khâu thu thập thông tin (vào, ra).

KN23. Thiết bị điều khiển là thiết bị dùng để xác định các đại lượng tác động

R_o để đạt được mục tiêu điều khiển W từ các tín hiệu vào $V(V')$, ra $R(R')$ và mục tiêu điều khiển W .

Phương thức xác định R_o từ V' , R' và W được gọi là hàm điều khiển Algôrit điều khiển và được thể hiện bằng công thức: $R_o = R_o(V', R', W)$.

Vì các thông tin V , R tham gia vào Algôrit điều khiển, nên thiết bị điều khiển còn gọi là khâu xử lý thông tin, và cơ cấu tác động gọi là khâu sử dụng thông tin.

Từ những điều kể trên, ta có thể phát biểu qui luật tổng quát của điều khiển học như sau:

Điều kiện tổng quát để có thể điều khiển một hệ thống theo mục tiêu cho trước là hệ thống điều khiển có các cơ cấu: đo vào hoặc ra (thu nhập thông tin), điều khiển (xử lý thông tin) tác động (sử dụng thông tin), và phải tìm được một Algôrit điều khiển.

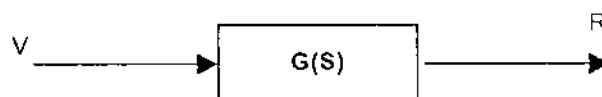
KN24. Các cơ cấu đo ra, điều khiển và tác động tạo nên mối quan hệ giữa đại lượng ra R và đại lượng vào D được gọi là liên hệ ngược. Các cơ cấu đo vào, điều khiển, tác động tạo nên mối quan hệ giữa đại lượng vào N và đại lượng vào D , được gọi là liên hệ xuôi. Mục tiêu W tham gia vào cả liên hệ ngược và xuôi.

KN25. Điều chỉnh tự động là giữ cho một đại lượng đặc trưng của quá trình điều khiển không biến đổi, hay biến đổi cho trước.

“Điều chỉnh” thực tế là một khái niệm hẹp nằm trong khái niệm “Điều khiển”. Điều chỉnh tự động là giữ cho một đại lượng không đổi, còn “Điều khiển tự động” có nghĩa rộng hơn là tự động thực hiện một số tác động lên đối tượng để duy trì hoặc cải thiện điều kiện làm việc của đối tượng theo một mục đích nhất định.

1.3. SƠ ĐỒ KHỐI CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

a/ Nguyên tắc vẽ sơ đồ khối (xem hình 1.3).



Hình 1.3. Sơ đồ khối

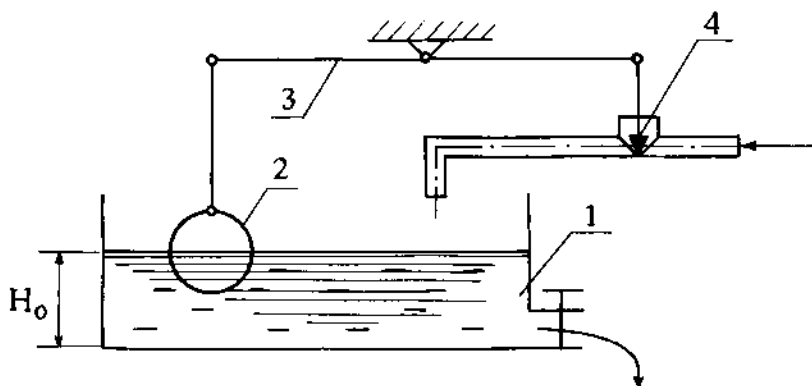
Sơ đồ khối là cách thể hiện nguyên lý tác động giữa các phần tử trong hệ thống. Mỗi phần tử được thể hiện bằng một hình chữ nhật, trong đó ghi hàm truyền đạt của phần tử. Mỗi phần tử liên kết với nhau bằng điện, từ, cơ,... đặc trưng bởi các phương trình và được biểu diễn bằng những mũi tên nối liền với nhau.

Ưu điểm của loại sơ đồ này là thể hiện những quá trình xảy ra trong thực tế,

nó đơn giản, dễ chế tạo, giá thành hạ. Ngoài ra, sơ đồ khối còn giúp ta xây dựng dễ dàng mối quan hệ tác động tương hỗ giữa các phần tử và của toàn bộ hệ thống.

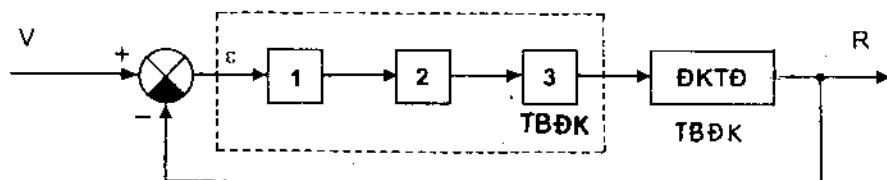
Hình 1.4. Trình bày sơ đồ nguyên lý hệ thống điều khiển mực nước giữ ở mức ổn định.

Trên cơ sở sơ đồ tổng quát ở hình 1.2, ta thấy đối tượng được điều khiển ở đây là thùng nước ①. Lượng nước tiêu thụ và cấp vào được phản ánh qua mực nước (H_0). Yêu cầu là phải giữ mực nước $H_0 = \text{const}$, dù lượng nước tiêu thụ lấy đi như thế nào.



Hình 1.4. Hệ thống điều khiển tự động mực nước.

Thiết bị điều khiển ở đây bao gồm phao ②, hệ thống đòn bẩy ③ và van ④. Biểu diễn sơ đồ khối của hệ thống này thể hiện ở hình 1.5 trên cơ sở rút gọn sơ đồ hình 1.2.



Hình 1.5. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển mực nước.

Theo sơ đồ hình 1.5 đối tượng điều khiển (ĐTĐK) là thùng nước, tín hiệu ra R là mực nước H của chúng, tín hiệu điều khiển D là tiết diện chảy của van. Thiết bị điều khiển gồm có ba phân tử: phân tử đo lường là phao, dùng để đo chiều cao mực nước; phân tử khuếch đại là hệ thống đòn bẩy và phân tử tác động là van.

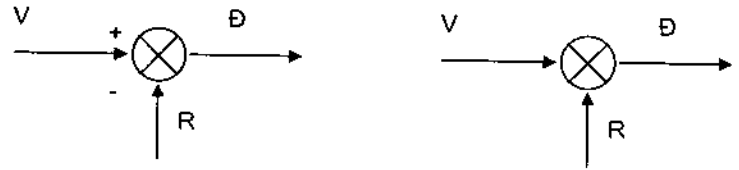
Ở hệ thống điều khiển này tín hiệu vào V được coi là cố định với giá trị H_0 , còn tín hiệu ra R là chiều cao thực tế của mực nước H . Sai lệch trong hệ thống là hiệu của mực nước cần giữ ổn định và mực nước thực tế của thùng, nghĩa là:

$$\varepsilon = H_0 - H = V - R.$$

Do đó hệ thống điều khiển tự động này được coi là hệ thống điều khiển theo nguyên tắc sai lệch. Mối quan hệ giữa tín hiệu ra và tín hiệu vào được thể hiện như sau:

$$R = G(s)V \quad (1.1)$$

Để biểu diễn cơ cấu so sánh (cộng hoặc trừ giữa các tín hiệu vào), người ta dùng ký hiệu như hình 1.6.



Hình 1.6. Ký hiệu cơ cấu so sánh.

Phần tô đen ở vòng tròn được đặc trưng là

tín hiệu âm (trừ bớt) và phần trắng ở vòng tròn là tín hiệu dương (thêm vào). Nếu phản hồi tín hiệu ra R theo sơ đồ hình 1.6a, thì tín hiệu điều khiển sẽ là:

$$\Delta = V - R \quad (1.2)$$

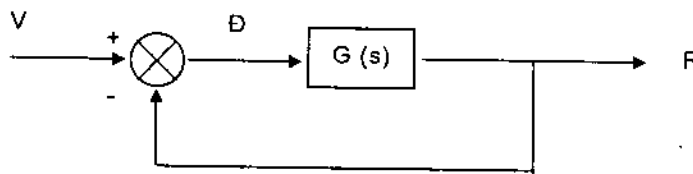
và theo hình 6b sẽ là: $\Delta = R + V$.

$$(1.3)$$

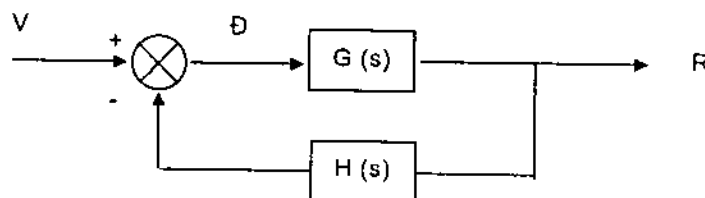
Để thể hiện một cách dễ hiểu hơn người ta có thể đánh dấu “+” và dấu “-” vào những mũi tên tương ứng. Như thế đối với một hệ thống điều khiển đơn giản, dùng tín hiệu phản hồi trực tiếp còn gọi là liên hệ ngược và có thể biểu diễn như hình 1.7.

Đây là sơ đồ khối của một hệ thống kín, vì tín hiệu ra R được dẫn về cơ cấu so sánh, để đối chiếu với tín hiệu vào V.

Thông thường, tín hiệu dẫn về cơ cấu so sánh cần được biến đổi thành dạng phù hợp với cơ cấu so sánh như hệ thống điều chỉnh nhiệt độ, nhiệt độ cần phải biến đổi thành lực hay thành sự thay đổi vị trí. Muốn vậy sự biến đổi này phải thực hiện bằng cơ cấu phản hồi mềm $H(s)$ như hình 1.8.



Hình 1.7. Sơ đồ khối của hệ thống điều khiển có cơ cấu phản hồi trực tiếp (cứng)



Hình 1.8. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển có cơ cấu phản hồi mềm.

$$\text{Tín hiệu phản hồi được tính như sau: } V_1 = H(s).R \quad (1.4)$$

$$\text{Tín hiệu điều khiển là: } D = V - V_1 \quad (1.5)$$

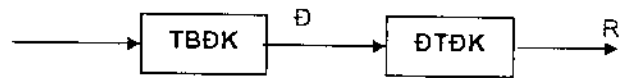
Ý nghĩa tổng quát của hệ thống điều khiển là hệ thống mà trong đó tín hiệu ra được dẫn về so với tín hiệu vào.

1.4. PHÂN LOẠI HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Hệ thống điều khiển có hai loại là: hệ thống hở và hệ thống kín.

a/ Hệ thống hở:

Ở đây tín hiệu vào V đặt thế nào thì tín hiệu ra R cho thế ấy. Khả năng phản hồi không có nên cơ cấu đơn giản, dễ chế tạo, rẻ tiền, nhưng nhược điểm là không phản ánh



Hình 1.9. Sơ đồ khối hệ thống hở.

kịp thời những sai sót của đầu vào. Sơ đồ khối như hình 1.9.

b/ Hệ thống kín (hình 1.8)

Đây là hệ thống thực hiện nguyên tắc điều khiển có phản hồi, nó có ưu điểm là tín hiệu ra R được đo lường và được dẫn đến đầu vào, phối hợp với tín hiệu V tác dụng lên thiết bị điều khiển để tạo ra tín hiệu điều khiển D và sau đó tác dụng vào đối tượng điều khiển gây ảnh hưởng đến tín hiệu ra R . Do đó hệ thống phức tạp và đắt tiền.

Cơ sở lý thuyết nghiên cứu hệ thống hở là “lý thuyết về thiết bị role” và “lý thuyết ôôtômat hữu hạn”, còn đối với hệ thống kín chính là “lý thuyết điều khiển tự động”.

Nếu phân loại theo đặc điểm mô tả toán học, thì ta có các hệ thống sau đây:

c/ **Hệ thống liên tục** là hệ thống mà tất cả các tín hiệu (tổng quát là thông tin) truyền từ vị trí này sang vị trí khác trong hệ thống, nó là các hàm liên tục theo thời gian.

d/ **Hệ thống gián đoạn** là hệ thống mà trong đó chỉ cần có một tín hiệu biểu diễn bằng một hàm gián đoạn theo thời gian.

e/ **Hệ thống tuyến tính** là hệ thống mà đặc tính tĩnh của tất cả các phần tử là tuyến tính. Phương trình trạng thái mô tả cho hệ thống tuyến tính là các phương trình tuyến tính. Đặc điểm cơ bản của hệ thống này là thực hiện nguyên lý xếp chồng, tức là nếu hệ thống có nhiều tác động đồng thời thì phản ứng đầu ra của nó là tổng tất cả các phản ứng do từng tác động riêng rẽ vào hệ thống.

g/ **Hệ thống phi tuyến** là hệ thống mà trong đó chỉ cần có một đặc tính tính của một phần tử là hàm phi tuyến. Đặc điểm của hệ thống phi tuyến là không thực hiện được các nguyên lý xếp chồng.

h/ **Hệ thống tuyến tính hóa** là hệ thống phi tuyến được tuyến tính hóa. Để tuyến tính hóa các đặc tính phi tuyến có nhiều phương pháp. Ngay cả các hệ thống được gọi là tuyến tính thực chất vẫn là các hệ thống được tuyến tính hóa.

Ngoài ra, nếu phân loại theo dạng năng lượng tiêu thụ thì ta có các hệ thống điều khiển bằng điện, dầu ép, khí ép, v.v...

1.5. NGUYÊN TẮC ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

Nguyên tắc điều khiển là thể hiện đặc điểm lượng thông tin và phương thức hình thành tác động điều khiển trong hệ thống. Dấu hiệu đặc trưng của nguyên tắc điều khiển là lượng thông tin cần thiết để tạo nên tác động điều khiển và cấu trúc của các mạch truyền tác động điều khiển. Nói cách khác, nguyên tắc điều khiển gắn liền với phương thức thu nhập, xử lý và sử dụng thông tin trong một thể thống nhất.

Để điều khiển đối tượng theo một quá trình nào đó, người ta thường dùng bốn nguyên tắc cơ bản là: nguyên tắc giữ ổn định, nguyên tắc điều khiển hỗn hợp, nguyên tắc điều khiển theo chương trình, nguyên tắc tự thích nghi.

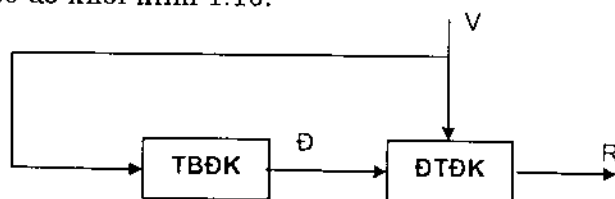
a/ Nguyên tắc giữ ổn định

Nguyên tắc giữ ổn định lại được thực hiện theo ba phương pháp sau đây:

- Nguyên tắc bù có tác động bên ngoài (nguyên tắc điều khiển theo nhiễu).

Nếu các tác động bên ngoài tác dụng lên đối tượng điều khiển có thể kiểm tra và đo lường được, còn đặc tính của đối tượng điều khiển xác định trước thì tín hiệu điều khiển D có thể xác định theo tác động bên ngoài đã cho.

- Nguyên tắc điều khiển do tác động bên ngoài tác dụng vào đối tượng điều khiển (ĐTĐK) và cả vào thiết bị điều khiển (TBĐK) gọi là nguyên tắc bù tác động bên ngoài. Xem sơ đồ khối hình 1.10.



Hình 1.10. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển theo nguyên tắc bù tác động bên ngoài.

Đối với hệ thống này, ta cần tìm quan hệ của $D(v)$ sao cho thỏa mãn điều kiện:

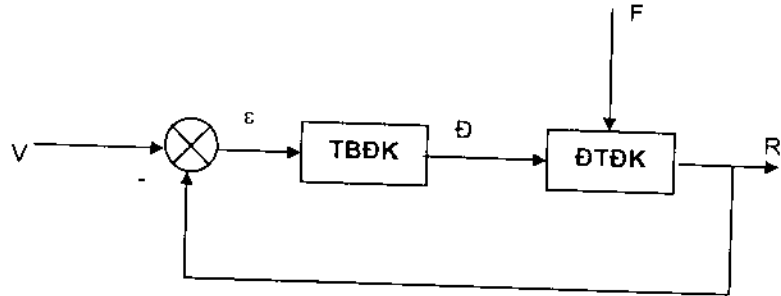
$$R = R_0 = \text{const}$$

Ở đây R_0 - giá trị tín hiệu ra cần giữ ổn định.

Loại hệ thống điều khiển này còn gọi là hệ thống bất biến, tức là tín hiệu ra R không phụ thuộc vào các tác động bên ngoài tác dụng vào hệ thống.

- Nguyên tắc điều khiển theo độ lệch.

Khi tác động từ bên ngoài không kiểm tra và đo lường được, còn đặc tính của đối tượng điều khiển không xác định được đầy đủ thì nguyên tắc điều khiển bù tác động



Hình 1.11. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển theo độ lệch.

bên ngoài không cho phép giữ ổn định tín hiệu ra R . Khi đó cần phải thực hiện nguyên tắc điều khiển theo độ lệch hay là nguyên tắc liên hệ ngược. Xem sơ đồ hình 1.11.

Ta thấy trong hệ thống này, tín hiệu ra R được phản hồi lại đầu vào và so sánh với tín hiệu vào V (thường R và V tác dụng ngược nhau để tạo thành phản hồi âm) nên gây ra sai lệch:

$$\varepsilon = V - R.$$

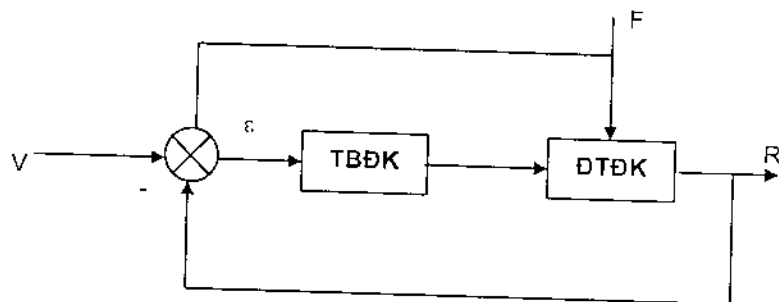
Sai lệch này sẽ tác dụng vào thiết bị điều khiển. Quá trình điều khiển sẽ kết thúc khi sai lệch bị triệt tiêu, lúc đó sẽ có tín hiệu ra:

$$R = V - R_0.$$

Loại hệ thống này không có đặc tính bất biến tuyệt đối, nghĩa là không giữ được tín hiệu ra R ổn định tuyệt đối bằng giá trị R_0 .

b/ Nguyên tắc điều khiển hỗn hợp

Để tạo nên hệ thống bất biến tuyệt đối, nghĩa là tín hiệu ra R hoàn toàn không phụ thuộc vào tác động bên ngoài, người ta thường dùng nguyên tắc hỗn



Hình 1.12. Sơ đồ khối hệ thống điều khiển hỗn hợp

đồ khối của hệ thống này được thể hiện theo hình 1.13. Về cơ bản hệ thống tự thích nghi cũng bao gồm 2 phần chủ yếu: đối tượng điều khiển và thiết bị điều khiển. Hệ thống này là một hệ thống nhiều vòng, trong đó mạch vòng cơ bản có đối tượng điều khiển và thiết bị điều khiển cơ bản (TBDKc).

Mạch vòng cơ bản là một hệ thống điều khiển thông thường, không thích nghi. Thiết bị điều khiển tự thích nghi (TBĐKt) dùng để điều khiển thiết bị điều khiển cơ bản, tức là biến đổi thông số và cấu trúc của TBDKc thích ứng với mọi biến đổi của môi trường ngoài tác dụng vào đối tượng điều khiển. Để thực hiện được điều kiện thích nghi, TBĐKt phải là một thiết bị tính toán phức tạp dùng để thu nhận các tín hiệu V, R, F, D.

Nguyên tắc tự thích nghi cũng có thể có những nguyên tắc riêng theo mạch hở và mạch kín.

4/ Nhiệm vụ của lý thuyết điều khiển tự động

Lý thuyết điều khiển tự động nhằm giải quyết 2 nhiệm vụ chính: phân tích hệ thống và tổng hợp hệ thống.

1. Phân tích hệ thống:

Nhiệm vụ này nhằm xác định đặc tính tín hiệu ra của hệ thống, sau đó đem so sánh với những chỉ tiêu yêu cầu để đánh giá chất lượng, điều khiển của hệ thống đó.

Muốn phân tích hệ thống tự động người ta dùng phương pháp trực tiếp hoặc gián tiếp để giải quyết hai vấn đề cơ bản: vấn đề về tính ổn định của hệ thống và vấn đề về chất lượng của quá trình điều khiển – quá trình xác lập trạng thái tĩnh và trạng thái động (quá trình quá độ).

Để giải quyết những vấn đề trên người ta thường dùng phương pháp mô hình toán học, tức là các phần tử của hệ thống điều khiển đều được đặc trưng bằng mô hình toán và tổng hợp mô hình toán của các phần tử sẽ cho mô hình toán của toàn bộ hệ thống.

Có thể xác định đặc tính ổn định của hệ thống qua mô hình toán của hệ thống với việc sử dụng lý thuyết ổn định trong toán học. Các bước để giải quyết bài toán ổn định là:

- Lập mô hình toán của từng phần tử trong hệ thống (phương trình vi phân hoặc hàm truyền đạt).
- Tìm phương pháp liên kết các mô hình toán lại với nhau thành mô hình toán của cả hệ thống.
- Xét ổn định của hệ thống dựa vào lý thuyết ổn định.

Tuy nhiên việc lập mô hình toán của các phần tử và của hệ thống trong thực tế rất khó khăn, nên ta dùng phương pháp xét ổn định theo đặc tính thực nghiệm (đặc tính tần số hoặc đặc tính thời gian).

Giải quyết nhiệm vụ phân tích chất lượng quá trình điều khiển cũng có 2 phương pháp: trực tiếp hoặc gián tiếp, thông qua mô hình toán hoặc đặc tính động học thực nghiệm. Giải quyết vấn đề này thường là giải hệ thống phương trình vi phân, vi tích phân, v.v... Ngoài ra, trong lý thuyết điều khiển tự động, khi phân tích quá trình quá độ người ta còn dùng máy tính tương tự và máy tính số.

2. Tổng hợp hệ thống

Tổng hợp hệ thống là vấn đề xác định thông số và cấu trúc của thiết bị điều khiển. Giải bài toán này, thực tế là thiết kế hệ thống điều khiển tự động. Trong quá trình tổng hợp này thường kèm theo bài toán phân tích. Đối với các hệ thống điều khiển tối ưu và tự thích nghi, nhiệm vụ tổng hợp thiết bị điều khiển giữ vai trò rất quan trọng. Trong các hệ thống đó, muốn tổng hợp được hệ thống, phải xác định algôrit điều khiển, tức là phải xác định luật điều khiển $D(t)$. Hệ thống điều khiển yêu cầu chất lượng cao thì việc tổng hợp càng trở nên phức tạp. Trong nhiều trường hợp cần đơn giản hóa một số yêu cầu và tìm phương pháp tổng hợp thích hợp để thực hiện.

Để thiết kế một hệ thống điều khiển tự động, cần tiến hành các bước sau đây:

- + Xuất phát từ mục tiêu điều khiển, yêu cầu về chất lượng điều khiển và đặc điểm của đối tượng điều khiển để xác định mô hình đối tượng được điều khiển.

- + Từ mô hình, mục tiêu điều khiển, yêu cầu chất lượng điều khiển, các nguyên lý điều khiển chung đã biết, khả năng các thiết bị điều khiển có thể sử dụng được hoặc chế tạo được, mà chọn một nguyên tắc điều khiển cụ thể. Từ đó lựa chọn các thiết bị cụ thể để thực hiện nguyên tắc điều khiển đã đề ra.

- + Trên cơ sở nguyên lý điều khiển và thiết bị được chọn, kiểm tra về lý thuyết hiệu quả điều khiển trên các mặt: khả năng đáp ứng mục tiêu, chất lượng, giá thành, điều kiện sử dụng, hậu quả, v.v... Từ đó hiệu chỉnh phương án chọn thiết bị, chọn nguyên tắc điều khiển khác hoặc hoàn thiện lại mô hình.

Nếu phương án đã chọn đạt yêu cầu, thì chuyển sang bước chế tạo, lắp ráp thiết bị từng phần và hiệu chỉnh các sai sót.

- + Chế tạo, lắp ráp thiết bị toàn bộ. Sau đó kiểm tra, thí nghiệm thiết bị toàn bộ. Hiệu chỉnh và nghiệm thu toàn bộ hệ thống điều khiển.

Chương 2

MÔ TẢ TOÁN HỌC CỦA PHẦN TỬ VÀ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Để nghiên cứu và đánh giá quá trình làm việc của một phần tử hoặc một hệ thống điều khiển tự động, cần phải biết mối quan hệ toán học giữa tín hiệu ra và tín hiệu vào, tức là biết mối quan hệ tự động học của chúng được thể hiện bằng các phương trình vi phân.

Khi nghiên cứu hệ thống ĐKTD, cần biết hệ thống đó gồm những thiết bị gì, có những phần tử nào và mỗi phần tử đó cần được đặc trưng bằng dạng mô tả toán học hoặc một mô hình toán học tương đương. Sau đó thể hiện mối quan hệ ấy trong dạng sơ đồ chức năng (sơ đồ khối).

Thành lập mô hình toán học bằng cách viết phương trình toán học của các phần tử ở các tín hiệu ra và tín hiệu vào và từ những phương trình đó xác định mối quan hệ giữa chúng bằng các thủ thuật toán học. Trừ những hệ thống đơn giản, nói chung phương pháp này đã tỏ ra khá phức tạp do tác dụng tương hỗ giữa các phần tử điều khiển khác nhau. Nhưng nhờ có sơ đồ khối, có thể thể hiện mối quan hệ phức tạp ấy một cách rõ ràng và dễ hiểu.

Do đó, nội dung của chương này nhằm giải quyết hai vấn đề sau:

- Xác định các mô hình toán học cho từng phần tử điều khiển điển hình.
- Xác định mối liên kết giữa các mô hình toán học riêng thành một mô hình toán học chung cho toàn hệ thống điều khiển.

2.1. MÔ TẢ TOÁN HỌC CÁC PHẦN TỬ ĐIỀU KHIỂN

Dứng về mặt chức năng, thì bất cứ hệ thống điều khiển nào cũng gồm có ba cơ cấu chủ yếu:

- Cơ cấu đo lường và phát tín hiệu.
- Cơ cấu khuếch đại - biến đổi.
- Cơ cấu chấp hành.

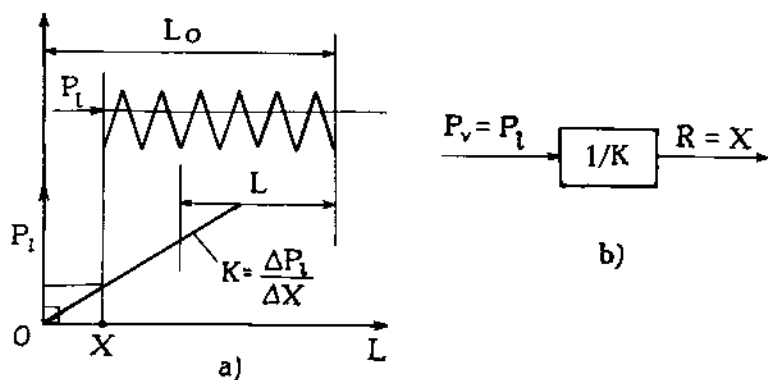
Các cơ cấu (phần tử) ấy có thể là cơ khí, điện, dầu ép, khí ép, v. v. ...

Ở đây chỉ xét các cơ cấu điển hình và chúng được xem là các phần tử tuyến tính hoặc đã được tuyến tính hóa.

2.2. CÁC PHẦN TỬ CƠ KHÍ

2.2.1. Phần tử di động thẳng

Điện hình của loại này là lò xo. Đường đặc tính lượng di động được trình bày ở hình 2.1a.



Hình 2.1. Đường đặc tính của lò xo.

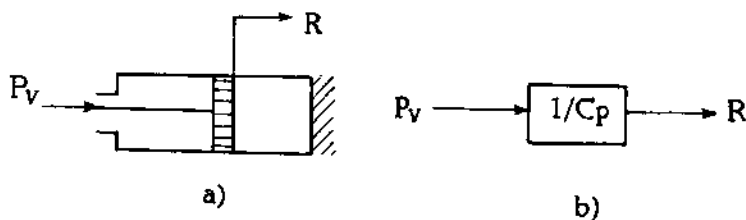
Nếu ta ấn lò xo có chiều dài là L_0 , di động một lượng X , thì cần một lực:

$$P_1 = K.X \quad (2.1)$$

Ở đây K – hằng số lò xo: $K = \frac{\Delta P_1}{\Delta X}$

Đối với lò xo, thông thường tín hiệu vào là lực P_v và tín hiệu ra là lượng di động R . Mô hình toán học đặc trưng cho nó là phương trình (2.1) và sơ đồ khối biểu diễn chức năng của nó là hình 2.1b.

Bộ giảm chấn bằng không khí hoặc bằng dầu ép được trình bày ở hình 2.2a.



Hình 2.2. Sơ đồ bộ giảm chấn tuyến tính.

Để di động pittông với vận tốc v , ta cần lực P_v , có giá trị bằng trị số giảm chấn C và vận tốc v , tức là:

$$P_v = C.v = C \frac{dR}{dt} \quad (2.2)$$

Nếu ta dùng toán tử Heaviside $p = \frac{d}{dt}$, thì:

$$P_v = C \cdot \frac{dR}{dt} = CpR \quad (2.3)$$

Lực P_v coi như tín hiệu vào và lượng di động R coi như tín hiệu ra và được thể hiện ở hình 2.2b.

Theo định luật II của Newton: tổng các lực (P ở bên ngoài tác dụng vào một trọng khối sẽ bằng tích của trọng khối và gia tốc, tức là:

$$\Sigma P = M.A = M \cdot \frac{d^2R}{dt^2} \quad (2.4)$$

Ta dùng toán tử $p = \frac{d}{dt}$ nên có thể viết:

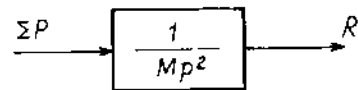
$$\Sigma P = M \frac{d^2r}{dt^2} = Mp^2R \quad (2.5)$$

Từ đây ta có thể xác định lượng di động R của trọng khối M :

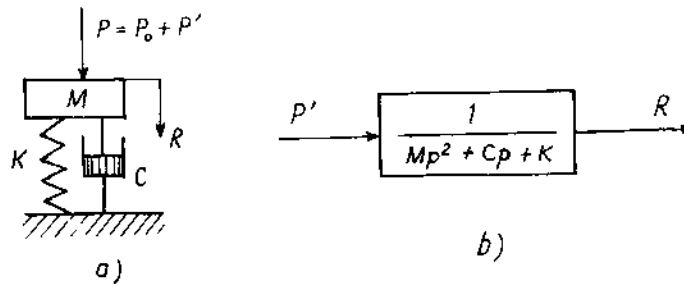
$$R = \frac{1}{Mp^2} \Sigma P \quad (2.6)$$

Và sơ đồ khối được thể hiện theo hình 2.3.

Thiết bị giảm chấn: thiết bị này gồm trọng khối - lò xo - bộ giảm chấn được trình bày trên hình 2.4a.



Hình 2.3. Sơ đồ khối gia tốc



Hình 2.4. Thiết bị giảm chấn nối tiếp trọng khối-lò xo-bộ giảm chấn.

$$P = P_0 + P'$$

Tác động vào trọng khối M gồm các lực sau đây:

Lực lò xo: $-P_i$

Lực giảm chấn: P_g

Lực trọng trường: $M.g$

Lực lò xo và lực giảm chấn ngăn cản chuyển động do lực P_v ở ngoài tạo nên. Do đó, tổng hợp lực tác động vào trọng khối M :

$$\Sigma P_v = P_v + M.g - P_i - P_g \quad (2.7)$$

Thay các trị số từ các công thức (2.1), (2.3) và (2.5) vào công thức (2.7) ta có:

$$Mp^2R = P_v + Mg - KR - CpR \quad (2.8)$$

$$\text{Tức là: } P_v = (Mp^2 + Cp + K) R - Mg \quad (2.9)$$

Để dễ dàng kiểm tra, người ta đo các biến số từ một trị số ban đầu hoặc một trị số cơ sở nào đó. Ta kí hiệu chữ r nhỏ là lượng di động được đo từ một giá trị ban đầu R_0 , tức là: $R = R_0 + r$; Trong đó: $R_0 = \text{const.}$

$$\text{Do đó: } R_v R = P_v(R_0 + r) = pr, \text{ vì } P_v R_0 = 0$$

$$\text{và } P_v^2 R = P_v^2 r$$

Điều này đã cho ta thấy vận tốc và gia tốc không phụ thuộc vào giá trị ban đầu. Do đó, phương trình (2.9) có thể viết:

$$P_v = (Mp^2 + Cp + K) (R_0 + R) - Mg = (Mp^2 + Cp + K) r + KR_0 - Mg \quad (2.10)$$

Nếu hệ thống đứng yên hoặc ở trạng thái cân bằng trong vị trí tương ứng với giá trị cơ sở, tức là: $P_v^2 r = P_v . r = r = 0$, thì lực tác dụng vào hệ thống bằng:

$$P_0 = KR_0 - Mg \quad (2.11)$$

Thay công thức (2.11) vào (2.10) ta có:

$$P_v - P_0 = P' = (Mp^2 + Cp + K) r \quad (2.12)$$

Ở đây P' - lực tác dụng vào hệ thống được đo từ lực P_0 tạo thành trạng thái cân bằng tương ứng ở giá trị cơ sở.

Vì P' và R được đo từ giá trị cơ sở, nên phương trình (2.12) được coi là mối quan hệ động học tổng quát của hệ thống. Ta thấy phương trình đặc trưng cho chuyển động của hệ thống được viết trên vị trí cơ sở đã được lựa chọn đơn giản hơn rất nhiều so với việc viết trên những giá trị tuyệt đối.

Sơ đồ khối của phương trình (2.12) được thể hiện trên hình 2.4b.

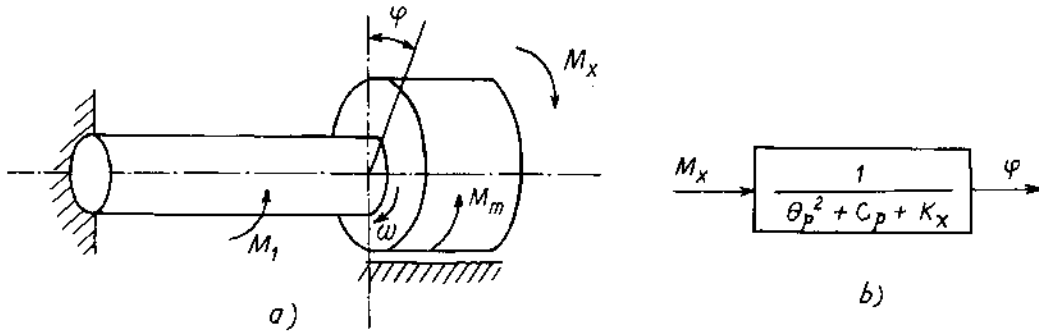
2.2.2. Phần tử quay

Định luật II Newton về chuyển động vòng viết: gia tốc góc của vật thể quay tỷ lệ thuận với tổng mômen tác dụng lên nó, tức là: nếu ta cho φ là góc quay, θ là mômen quán tính của vật thể, M là mômen bên ngoài tác dụng vào vật thể, thì định luật trên có thể viết theo dạng toán học:

$$\text{Gia tốc góc} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{\Sigma M}{\theta}$$

$$\text{Từ đây ta có: } 0 = \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \Sigma M \quad (2.13)$$

Các mômen bên ngoài được tạo nên do động cơ, do tải trọng, tác dụng lò xo hoặc giảm chấn. Hình 2.5a biểu diễn sơ đồ của một đĩa quay trong chất lỏng làm cho trục lắp trên nó bị biến dạng một góc φ .



Hình 2.5. Sơ đồ bánh đà với hệ thống trọng khối - lò xo - giảm chấn.

Từ hệ thống này nếu ta quay đĩa với mômen xoắn M_x , trục sẽ quay đi một góc φ , tạo nên mômen của lò xo xoắn:

$$M_l = K_x \varphi \quad (2.14)$$

Với trục có đường kính D , chiều dài l , ta sẽ có hệ số lò xo xoắn:

$$K_x = \frac{\pi D^4 G}{32l} \quad (2.15)$$

Ở đây G - môđun đàn hồi.

Mômen cần thiết để thắng lực ma sát của chất lỏng:

$$M_m = C\omega = C \frac{d\varphi}{dt} = C_p \varphi \quad (2.16)$$

Ở đây: ω - vận tốc góc

C - hệ số ma sát của chất lỏng.

Nếu ta quay đĩa với mômen xoắn M_x , mômen xoắn của trục (lò xo) và mômen ma sát sẽ ngăn cản sự quay của đĩa. Do đó, công thức (2.13) có thể viết:

$$\Sigma M = M_x - M_l - M_m = 0 \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \theta p^2 \varphi \quad (2.17)$$

Thay các trị số từ công thức (2.14), (2.16) vào (2.17), ta có:

$$M_x = K_x \varphi - C_p \varphi = 0 p^2 \varphi.$$

$$\text{Từ đây ta có: } M_x = (0 p^3 + C_p + K_x) \varphi \quad (2.18)$$

Sơ đồ khối của phương trình này được thể hiện ở hình 2.5b.

2.2.3. Bộ tích phân

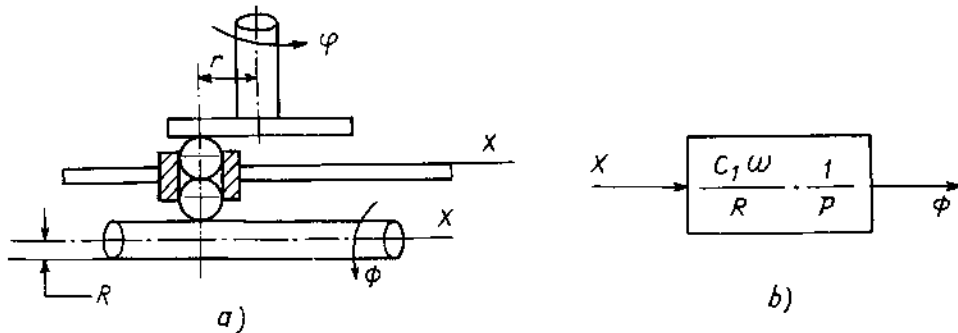
Sơ đồ bộ tích phân cơ khí được trình bày ở hình 2.6. Cơ cấu này còn gọi là bộ so cơ khí, dùng để cộng trừ các tín hiệu.

Tín hiệu vào của bộ tích phân đĩa-bi và vi lượng góc quay $d\varphi$ tạo nên lượng di động tuyến tính là $rd\varphi$. Lượng di động này truyền qua hai viên bi làm cho trục có bán kính R quay một góc F . Hai viên bi đảm bảo cho các chi tiết lăn không trượt nếu r thay đổi (nếu dùng một viên thì không đảm bảo yêu cầu này). Phương trình vi phân biểu thị sự hoạt động của cơ cấu này là:

$$Rd\Phi = rd\varphi \quad (2.19)$$

Vì cơ cấu làm việc liên tục, nên tổng các vi lượng sẽ là:

$$\Phi = \frac{1}{R} \int rd\varphi \quad (2.20)$$



Hình 2.6. Sơ đồ bộ tích phân đĩa-bi.

Ta cho r tỷ lệ thuận với tín hiệu điều khiển X , tức là $r = C_1 X$ và trục vào quay với vận tốc góc không đổi $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$, tức là $d\varphi = \omega dt$. Vì thế phương trình (2.20) có thể viết:

$$\Phi = \frac{1}{R} \int C_1 X \omega d\varphi = \frac{C_1 \omega}{R} \int X dt \quad (2.21)$$

Ta dùng ký hiệu toán tử Heaviside $\frac{1}{p} = \int dt$ (số đảo của p đặc trưng cho tích phân).

$$\text{Vì cho } x(t) = \int [pt(t)]dt = f(t) + C \quad (a)$$

Ở đây $pf(t) = \left(\frac{d}{dt}\right)f(t)$ và $C = \text{const.}$

Phương trình (a) lấy đạo hàm theo thời gian:

$$px(t) = pf(t) + 0$$

$$\text{Từ đây ta có: } x(t) = \frac{1}{p}[pf(t)] \quad (b)$$

So sánh hai phương trình (a) và (b) ta có:

$$\frac{1}{p}[pt(t)] = \int [pt(t)]dt = f(t) + C$$

Ta thấy $\frac{1}{p} = \int dt$ ($\frac{1}{p}$ đặc trưng cho tích phân)

Công thức (2.21) có thể viết:

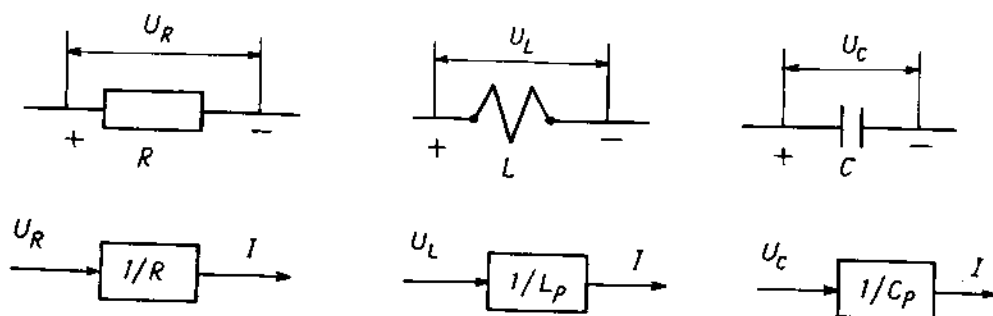
$$\Phi = \frac{C_1 \omega}{R} \frac{1}{b} X \quad (2.22)$$

Sơ đồ khối của phương trình này được thể hiện ở hình (2.6b).

2.3. CÁC PHẦN TỬ ĐIỆN

2.3.1. Các phần tử cơ bản của các mạch điện

Đây là điện trở, điện cảm và điện dung, hình 2.7.



Hình 2.7. Sơ đồ các phần tử cơ bản của mạch điện.

Điện áp rơi U_R tỷ lệ thuận với cường độ dòng điện I chạy qua điện trở:

$$U_R = RI \quad (2.23)$$

Điện áp rơi trên điện cảm:

$$U_L = L \frac{dI}{dt} = L_p I \quad (2.24)$$

Và trên điện dung:

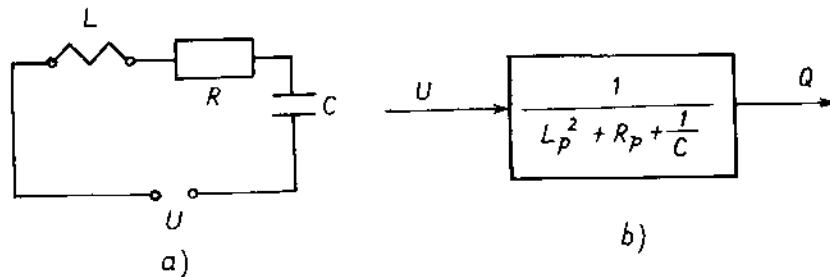
$$U_c = \frac{1}{C} \int I dt = \frac{1}{C_p} I \quad (2.25)$$

Thể hiện các phương trình trên ở các sơ đồ khối tương ứng của hình 2.7.

2.3.2. Mạch nối tiếp

Nếu các phần tử cơ bản lắp thành mạch nối tiếp RLC, hình 2.8, thì điện áp của toàn mạch sẽ bằng tổng của từng điện áp rơi:

$$U = U_L + U_R + U_C = \left(L_p + R + \frac{1}{C_p} \right) I \quad (2.26)$$



Hình 2.8. Sơ đồ mạch nối tiếp.

Ta biết: điện tích Q là tích phân theo thời gian của dòng điện, tức là : $Q = \frac{1}{p} I$

Do đó công thức (2.26), có thể viết:

$$U = \left(L_p^2 + R_p + \frac{1}{C} \right) \frac{I}{p}$$

Tức là:

$$U = \left(L_p^2 + R_p + \frac{1}{C} \right) Q \quad (2.27)$$

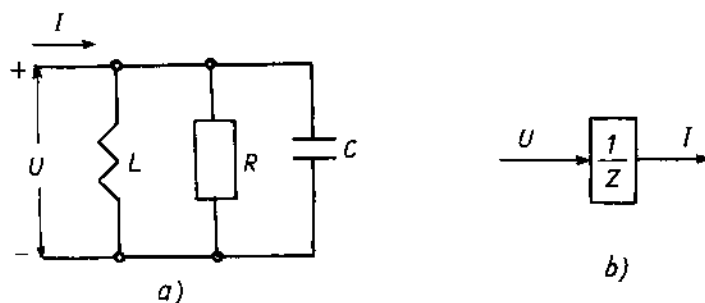
Và sơ đồ khối tổng quát được trình bày ở hình 2.8b.

2.3.3. Mạch song song

Các phần tử mắc song song được thể hiện ở hình 2.9a. Đặc điểm của mạch này là: điện áp trên các phần tử như nhau và dòng điện chạy trong hệ thống bằng tổng các dòng điện chạy qua từng phần tử, tức là:

$$I = \frac{U}{L_p} + \frac{U}{R} + \frac{U}{1/C_p} \quad (2.28)$$

Hoặc: $U = \frac{1}{\frac{1}{L_p} + \frac{1}{R} + C_p} I = ZI \quad (2.29)$



Hình 2.9. Sơ đồ mạch song song.

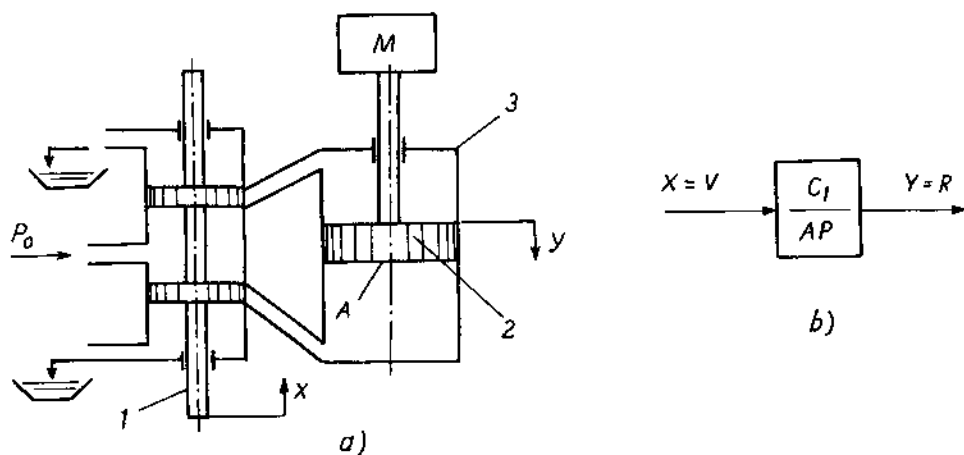
Ở đây, tổng trở của các phần tử mắc song song là:

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{L_p} + \frac{1}{R} + C_p} \quad (2.30)$$

2.4. PHẦN TỬ DẦU ÉP

Hình 2.10a, giới thiệu sơ đồ kết cấu của bộ tích phân bằng dầu ép.

Lượng di động của van trượt 1 ký hiệu là x , và của pittông 2 là y . Van trượt được gọi là van cân bằng, vì những lực tác dụng lên nó đều ở trạng thái cân bằng. Do đó, với một lực bé ta có thể thay đổi vị trí của van trượt.



Hình 2.10. Sơ đồ bộ tích phân bằng dầu ép.

Nếu van trượt được đẩy lên phía trên, dầu có áp suất P_0 sẽ vào buồng trên của xilanh 3, và dầu của buồng dưới sẽ chảy qua van trượt về bể dầu. Nếu van trượt được đưa xuống phía dưới, dầu sẽ chảy xuống buồng dưới của xilanh và dầu ở buồng trên sẽ chảy về bể dầu. Ta biết: với hiệu áp không đổi được hình thành ở cửa van, tức là tỷ lệ thuận với lượng di động x . Do đó, nếu gọi q là lượng dầu chảy vào xilanh, ta có:

$$q = C_1 x \quad (2.31)$$

Lượng dầu q đồng thời cũng bằng sự thay đổi thể tích của xilanh, tức là bằng tích của bề mặt pittông A và vận tốc pittông Py :

$$q = APy \quad (2.32)$$

Thay trị số của công thức (2.31) vào (2.32) ta có:

$$APy = C_1 x$$

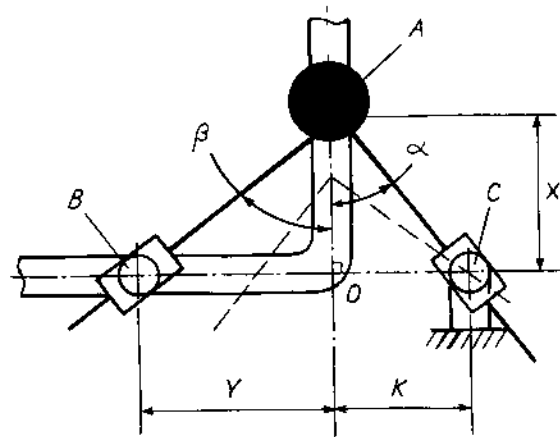
$$\text{Từ đây: } y = \frac{C_1}{AP} x \quad (2.33)$$

Sơ đồ khối của bộ tích phân bằng dầu ép này được trình bày ở hình 2.10b.

2.5. PHẦN TỬ PHI TUYẾN

Ta xét một phần tử phi tuyến và trên cơ sở đó tiến hành tuyến tính hóa mô hình toán học đặc trưng cho chức năng của cơ cấu. Hình 2.11 giới thiệu sơ đồ của cơ cấu nâng vuông góc bằng cơ khí.

Thanh nâng vuông góc tại điểm A ($\alpha + \beta = 90^\circ$) và nó có thể chuyển động cường bức trong rãnh thẳng đứng. Một nhánh của thanh nâng có thể trượt trên bạc ở điểm B , bạc này có thể di động cường bức trên rãnh nằm ngang. Nhánh kia của thanh nâng có thể di động trong bạc của khớp nối được cố định ở điểm C .



Hình 2.11. Sơ đồ cơ cấu nâng vuông góc.

Từ hai tam giác luôn luôn đồng dạng AOB và AOC ta có:

$$\frac{Y}{X} = \frac{X}{K}$$

$$\text{Tức là: } Y = \frac{X^2}{K}, \text{ ở đây } K = \text{const} \quad (2.34)$$

Nếu tín hiệu vào là X , thì vị trí của điểm B, tức là tín hiệu ra Y tỷ lệ với bình phương của X . Nếu như Y là tín hiệu vào, thì tín hiệu ra X sẽ tỷ lệ với khai căn bậc hai của Y , tức là $X = \sqrt{KY}$.

Để có thể viết mô hình toán học, ta cần phải tuyến tính hóa các phương trình phi tuyến.

2.5.1. Tuyến tính hóa hàm phi tuyến

Phương trình (2.34) là phương trình phi tuyến, cần được tuyến tính hóa bằng những phương pháp gần đúng. Điều kiện tuyến tính của một phương trình là các biến số $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ của nó phải là bậc nhất và trong mỗi thành phần của phương trình chỉ có một biến số.

Phương trình tuyến tính tổng quát có dạng sau:

$$Y = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n \quad (2.35)$$

Phương trình phi tuyến (2.34), được thể hiện trên hình 2.11.

Ta thấy rằng xung quanh điểm cân nghiên cứu (X_i, Y_i) đường biểu diễn hàm $Y = \frac{X^2}{K}$ rất gần với tiếp tuyến ở điểm đó. Thí dụ như ta lấy một điểm làm việc khác (X, Y) trên đường phi tuyến. Hoành độ của nó cách X_i một khoảng x , tung độ của nó cách Y_i một khoảng $y + \varepsilon$ và cắt tiếp tuyến ở điểm cách Y_i một khoảng y . Do đó:

$$Y = Y_i + y + \varepsilon \approx Y_i + y \quad (2.36)$$

Những chữ cái nhỏ chỉ độ sai lệch tính từ điểm khởi đầu (điểm cơ sở) của các thông số chữ cái lớn.

Từ hình 2.12 ta có thể viết phương trình độ dốc của tiếp tuyến tại điểm (X_i, Y_i) :

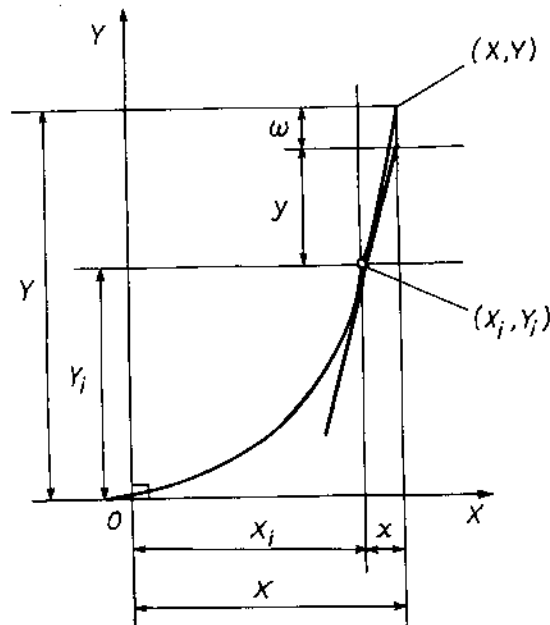
$$\frac{y}{x} = \left. \frac{dY}{dX} \right|_i \quad (2.37)$$

Từ công thức (2.37), ta có:

$$y = \left. \frac{dY}{dX} \right|_i x = \frac{d}{dX} \left(\frac{X^2}{K} \right)_i x = \frac{2X_i}{K} x \quad (2.38)$$

Thay vào phương trình (2.36) ta có phương trình tuyến tính gần đúng như sau:

$$Y \approx Y_i + \frac{2X_i}{K} x \quad (2.39)$$



Hình 2.12. Đường biểu diễn hàm số: $Y = \frac{X^2}{K}$

Công thức (2.39) không gì khác hơn là hai số hạng đầu của dãy số Taylor, tức là nếu một hàm $f(x)$ có thể đạo hàm n lần ở điểm a trong một miền kín $[\alpha, \beta]$, thì:

$$f(x) \approx f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(a)}{n!}(x-a)^n \quad (2.40)$$

Nếu như $a = 0$, tức là đạo hàm lấy ở điểm khởi đầu (như trường hợp của ta $x = X_i$) thì dãy Taylor có dạng:

$$f(x) \approx f(0) + \frac{f'(0)}{1!}x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n \quad (2.41)$$

Do đó, để tuyến tính hóa một hàm phi tuyến, người ta dùng dãy số Taylor và lấy hai số hạng đầu của chúng.

Ứng dụng dãy số Taylor để tuyến tính hóa phương trình $Y = \frac{X^2}{K}$, ta có biến số a tương ứng với X_i ; $(x-a)$ tương đương với $(X-X_i) = x$.

Do đó:

$$f(a) = Y_i$$

$$f'(a) = \left. \frac{dX}{dY} \right|_i = \left. \frac{d}{dX} \left(\frac{X^2}{K} \right) \right|_i = \left. \frac{2X}{K} \right|_i = \frac{2X_i}{K}$$

$$\text{Nên } f(x) = Y \approx Y_i + \frac{2X_i}{K} x ; \quad (2.42)$$

Ở đây $1! = 1$

Thí dụ:

Xác định giá trị gần đúng của phương trình $Y = \frac{X^2}{K}$ trên điểm $X = x_i$ quanh vùng cơ sở $X_i = 10$ (cho $K = 1$).

Các giá trị số cơ sở: $X_i = 10$ do đó: $Y_i = X_i^2 = 100$.

Thay các giá trị $K = 1$ và $x = X - X_i = 11 - 10 = 1$ vào phương trình (2.42), ta có:

$$f(x) = Y \approx 100 + \frac{2 \cdot 10 \cdot 1}{1} = 120$$

Trị số chính xác: $Y = X^2 = 11^2 = 121$.

Do đó sai số là $121 - 120 = 1$, nhỏ hơn 1%.

Đối với hàm có nhiều biến số, thí dụ như: $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, ta có thể viết lượng của hàm:

$$\Delta Y = \left. \frac{\partial Y}{\partial X_1} \right| \Delta X_1 + \left. \frac{\partial Y}{\partial X_2} \right| \Delta X_2 + \dots + \left. \frac{\partial Y}{\partial X_n} \right| \Delta X_n \quad (2.43)$$

Nếu ta ký hiệu những chữ cái nhỏ là giá trị sai lệch với trị số cơ sở:

$$Y - Y_i = \Delta Y = y$$

$$X_i - X_{i_1} = \Delta X_1 = x_1$$

....

$$X_n - X_{i_n} = \Delta X_n = x_n$$

Ta có phương trình của giá trị thay đổi quanh trị số cơ sở:

$$y = C_1 x_1 + C_2 x_2 + \dots + C_n x_n \quad (2.44)$$

$$\text{Ở đây } C_1 = \left. \frac{\partial Y}{\partial X_1} \right|, C_2 = \left. \frac{\partial Y}{\partial X_2} \right|, \dots$$

Tức là đạo hàm riêng của phương trình sẽ cho hằng số ở vị trí cơ sở.

Phương trình tuyến tính tổng quát cho hàm có nhiều biến số:

$$Y = Y_i + y = Y_i + C_1 x_1 + C_2 x_2 + \dots + C_n x_n \quad (2.45)$$

Thí dụ:

Phương trình cơ bản của một chất lý tưởng mà ta đã biết: $PV = CT$. Từ đây ta có thể viết phương trình của áp suất P phụ thuộc vào thể tích V và nhiệt độ T :

$$P = f(T, V) = \frac{CT}{V}$$

Ứng dụng công thức (2.44) ta có phương trình áp suất thay đổi quanh trị số cơ sở P:

$$p = \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_i t + \left. \frac{\partial P}{\partial V} \right|_i v \quad (2.46)$$

Nếu như ta cho các giá trị cơ sở:

$$P_i = 100 \text{ đv.a}$$

$$V_i = 100 \text{ đv.t}$$

$$T_i = 1000 \text{ đv.n}$$

$$C = 10 \text{ và } V = 110 \text{ đv.t; } T = 1200 \text{ đv.n}$$

thì:
$$\left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_i = \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{CT}{V} \right)_i = \frac{C}{V}_i = \frac{10}{100} = 0,1$$

$$\left. \frac{\partial P}{\partial V} \right|_i = \frac{\partial}{\partial V} \left(\frac{CT}{V} \right)_i = -\frac{CT}{V^2}_i = \frac{10 \cdot 10^3}{100^2} = -1$$

$$P_i = \frac{CT}{V}_i = \frac{10 \cdot 1000}{100} = 100$$

$$v = V - V_i = 110 - 100 = 10;$$

$$t = T - T_i = 200;$$

Do đó, phương trình tuyến tính gần đúng của áp suất trên điểm T và V quanh điểm cơ sở:

$$P \approx \left. \frac{CT}{V} \right|_i + \frac{C}{V}_i t - \frac{CT}{V^2}_i v = 100 + 0,1t - v = 110 \text{ đv.a} \quad (2.47)$$

$$P = \frac{CT}{V} = \frac{10 \cdot 1200}{110} = 109,1$$

Và sai số:
$$\frac{109,1 - 110}{110} \cdot 100 = -0,82\%$$

Trong thực tế, đặc điểm của nhiều phân tử điều khiển phi tuyến cần phải tuyến tính hóa như cơ cấu ly tâm, cơ cấu dầu ép và khí ép, v.v...

2.5.2. Tuyến tính hóa đường đặc tính

Trong thực tế, đặc điểm làm việc của nhiều phân tử điều khiển không phải đặc trưng bằng một phương trình toán học mà bằng một đường đặc tính nào đó. Thông thường đường này được xác định bằng các số liệu thí nghiệm, vì nếu xác định bằng các công thức toán học thì vô cùng phức tạp và khó khăn. Trong trường hợp này phương trình tuyến tính đặc trưng cho sự làm việc của cơ cấu có thể viết xung

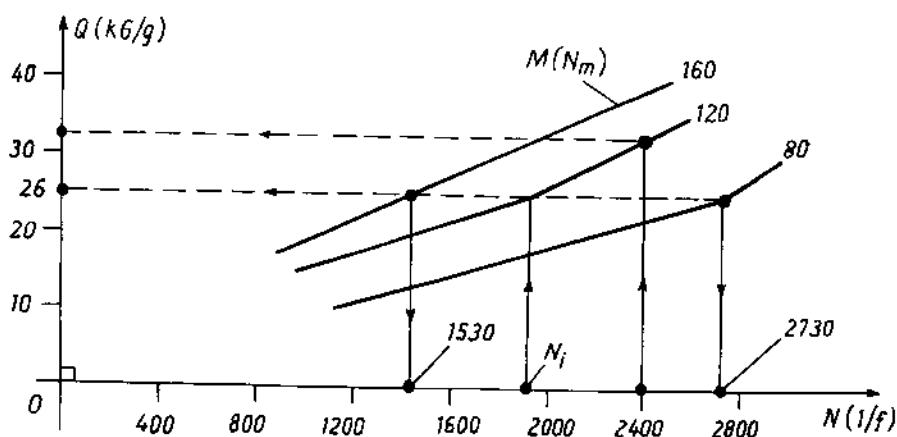
quanh một điểm làm việc nào đó của cơ cấu.

Hình 2.13 trình bày họ đường đặc tính số vòng quay N của động cơ phụ thuộc vào lượng nhiên liệu tiêu thụ Q và mômen M , tức là:

$$N = f(Q, M) \quad (2.48)$$

Tuyến tính hóa, ta có:

$$n = \left. \frac{\partial N}{\partial Q} \right|_i q + \left. \frac{\partial N}{\partial M} \right|_i m \quad (2.49)$$



Hình 2.13. Đường đặc tính của động cơ đốt trong.

Đạo hàm riêng $\left. \frac{\partial N}{\partial Q} \right|_i$, có nghĩa là sự thay đổi số vòng quay khi thay đổi mức thay đổi nhiên liệu, nếu tất cả các thông số khác (ở đây là M) giữ không đổi. Như thế, đạo hàm riêng là số đảo của độ dốc đường đặc tính ở tại điểm cơ sở:

$$\left. \frac{\partial N}{\partial Q} \right|_i = \frac{2400 - 2000}{32 - 26} = 66,6$$

Đạo hàm riêng $\left. \frac{\partial N}{\partial M} \right|_i$ đặc trưng cho sự thay đổi số vòng quay, với sự thay đổi mômen, khi lượng tiêu thụ dầu không đổi. Xác định trị số này bằng phương pháp nội suy từ đường nằm ngang cắt đường đặc tính. Từ các trị số nhận được từ hình 2.13, ta có:

$$\left. \frac{\partial N}{\partial M} \right|_i = \frac{2730 - 1530}{80 - 160} = -15$$

Dấu “-” có nghĩa là với lượng dầu tiêu thụ Q không đổi, khi mômen tăng thì số vòng quay giảm. Do đó phương trình tuyến tính của đường đặc tính quanh điểm cơ

sở (điểm làm việc) $N_i = 2000$, $Q_i = 26$ và $M_i = 120$ như sau:

$$N = N_i + 66,6q - 15m. \quad (2.50)$$

Sự khác nhau trong việc tuyến tính hóa các đường đặc tính với việc tuyến tính hóa các phương trình phi tuyến là việc xác định các đạo hàm riêng bằng phương pháp đồ thị chứ không phải bằng phương pháp toán học.

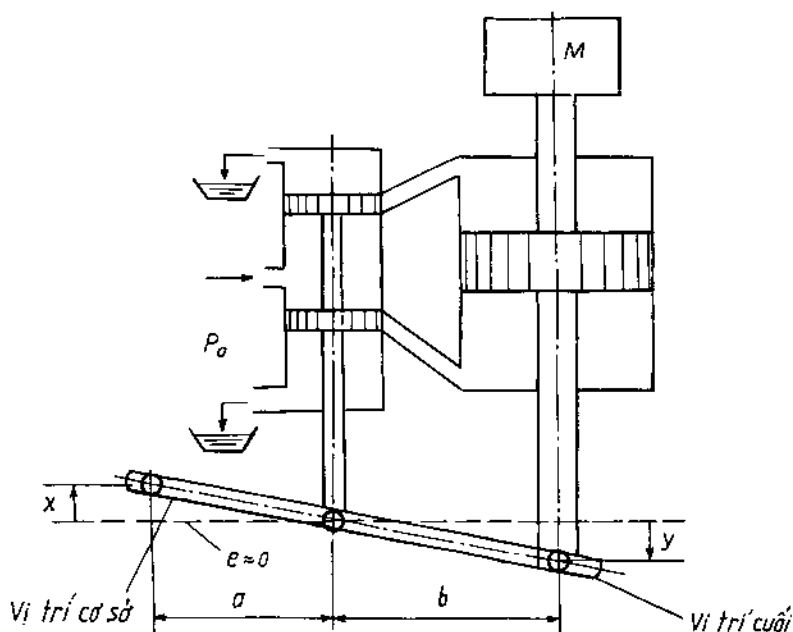
2.6. MÔ TẢ TOÁN HỌC HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Sau khi đã nắm được các phương pháp mô tả toán học đặc điểm làm việc của một số phần tử điều khiển, ta đề cập đến cách xác định mô hình toán học cho toàn bộ hệ thống điều khiển.

Ở đây ta cũng chỉ có thể xem xét một số hệ thống điển hình theo các bước:

- + Xác định sơ đồ khối của từng phần tử hoặc từng cơ cấu.
- + Nối các tín hiệu vào của từng bộ phận để tạo thành sơ đồ khối của toàn hệ thống.

2.6.1. Hệ thống động cơ điều khiển bằng dầu ép



Hình 2.14. Sơ đồ động cơ điều khiển bằng dầu ép.

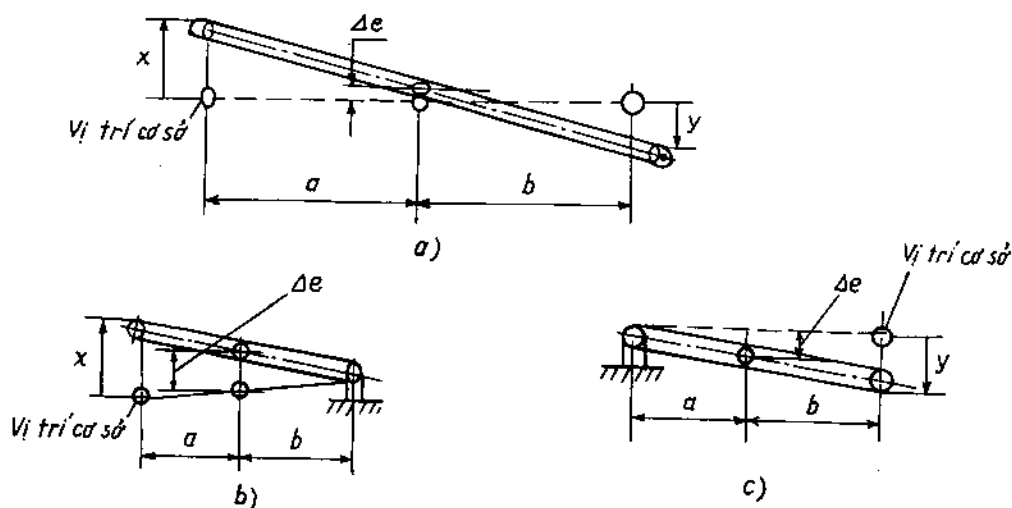
Hình 2.14 trình bày sơ đồ của động cơ điều khiển bằng dầu ép. Hệ thống đòn bẩy nối liền các điểm tương ứng với lượng vào x , lượng di động e của van trượt và

lượng di động y của pitông. Trên hình 2.14 cũng thể hiện vị trí cơ sở của đòn bẩy và trị số thay đổi từ vị trí cơ sở được ký hiệu là x , e và y . Nếu $e = 0$, van trượt hoàn toàn đóng kín của dẫn dầu, và do đó không có lượng dầu chảy vào hoặc chảy ra xilanh.

Khi có tín hiệu vào x , tức là khi đòn bẩy di động khỏi vị trí cơ sở, trước tiên nó quay xung quanh chốt ở y , vì các lực tác dụng lên pitông trong khoảng khắc cố định chốt (vị trí này được thể hiện trên đường đứt quãng trên hình 2.14). Do lượng di động e được nâng lên tương ứng, nên van trượt mở đưa dầu về phía đối diện làm cho pitông di động triệt tiêu e (trường hợp của ta thì dầu có áp suất p_0 được dẫn về buồng trên của xilanh, đẩy pitông xuống phía dưới), trên hình 2.14 thể hiện vị trí cuối của đòn bẩy, khi e trở về giá trị 0 và pitông di động một đoạn y . Ở vị trí $e = 0$ (vị trí ổn định) ta có thể viết mối quan hệ giữa tín hiệu vào x và tín hiệu ra y từ hai tam giác đồng dạng:

$$y = \frac{b}{a}x \quad (2.51)$$

Hình 2.14a thể hiện mối quan hệ giữa các đại lượng trong hệ thống đòn bẩy.



Hình 2.15. Sơ đồ hệ thống đòn bẩy.

Từ sơ đồ hình 2.15 ta thấy trị số e là hàm của hai biến số x và y , tức là:

$$e = f(x, y);$$

Do đó, theo công thức (2.44), ta có:

$$e = \left. \frac{\partial e}{\partial x} \right|_y x + \left. \frac{\partial e}{\partial y} \right|_x y \quad (2.52)$$

Trị số: $\left. \frac{\partial e}{\partial x} \right|_y$ có thể xác định từ sự thay đổi theo x , khi các thông số khác (ở đây

là y) không thay đổi. Với trị số y không thay đổi (thể hiện ở hình 2.15b) ta có thể viết từ các tam giác đồng dạng:

$$\left. \frac{\partial e}{\partial x} \right|_y = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta e}{\Delta x} \bigg|_y = \frac{b}{a+b} \quad (2.53)$$

Tương tự theo hình 2.15c với x cố định, ta có:

$$\left. \frac{\partial e}{\partial y} \right|_x = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta e}{\Delta y} \bigg|_x = -\frac{a}{a+b} \quad (2.54)$$

Dấu “-” có nghĩa là nếu e giảm thì y tăng.

Các kết quả trên thay vào công thức (2.52) sẽ cho mối quan hệ toán học của hệ thống đôn bẫy:

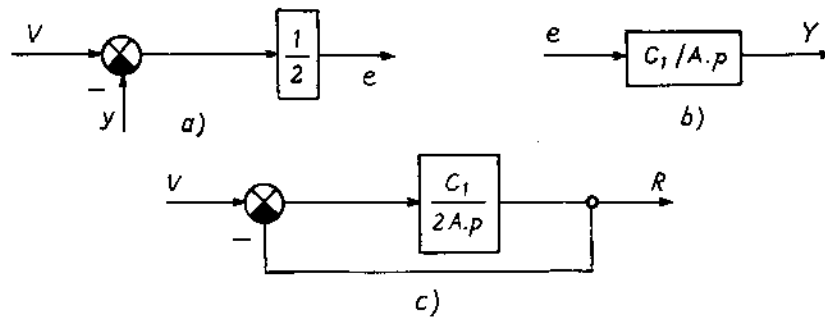
$$e = \frac{b}{a+b} x - \frac{a}{a+b} y \quad (2.55)$$

Như thế, lượng di động e gồm có hai thành phần: phần thay đổi của x khi y cố định và phần di động của y khi x cố định.

Nếu như $a = b$ thì:

$$e = \frac{x-y}{2} \quad (2.56)$$

Sơ đồ khối thể hiện phương trình 2.56 được biểu diễn trên hình 2.16a.



Hình 2.16. Sơ đồ khối các phần tử của động cơ điều khiển bằng dầu ép.

Phương trình (2.33) biểu diễn mối quan hệ giữa van trượt và pitông, ở đây ta thay x bằng e , nên:

$$y = \frac{C_1}{A.p} e \quad (2.57)$$

Và sơ đồ khối của nó được thể hiện ở hình 2.16b.

Thay e từ (2.56) vào e của (2.57) ta có:

$$(x - y) \frac{C_1}{2Ap} = y \quad (2.58)$$

(2.58) là phương trình tổng quát thể hiện mối quan hệ giữa tín hiệu vào x và tín hiệu ra y và được trình bày trong dạng sơ đồ khối ở hình 2.16c.

Từ công thức (2.58) ta sắp xếp lại và rút gọn, sẽ có:

$$\left(1 + \frac{2A}{C_1} p\right) y = x \quad (2.59)$$

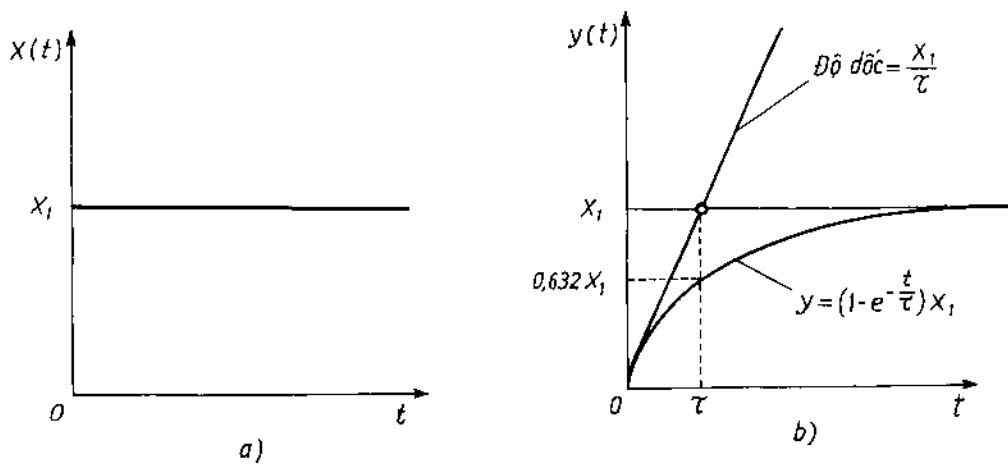
Nếu thay $\tau = \frac{2A}{C_1}$, thì:

$$(1 + \tau p) y = x \quad (2.60)$$

(2.60) là phương trình vi phân bậc nhất, tuyến tính, có hệ số không đổi, thể hiện mối quan hệ giữa x và y . Ở trạng thái ổn định x và y đều là một hằng. Nếu $y = \text{const}$, thì $py = \frac{dy}{dt} = 0$ và từ công thức (2.60), ta thấy ở trạng thái ổn định thì $y = x$.

Nếu ta muốn xác định trị số y ở trạng thái chuyển tiếp (chưa ổn định) khi thay đổi x với lượng đã cho thì cần phải giải phương trình vi phân (2.60).

Nếu ở thời điểm $t = 0$, từ trị số cơ sở $x = 0$, ta thay đổi trị số x đến vị trí cuối cùng có $x = x_1$. Loại tín hiệu thay đổi đột ngột như thế được gọi là tín hiệu bậc thang và hàm bậc thang được biểu diễn trên hình 2.17a.



Hình 2.17. Hàm bậc thang và đường biểu diễn quá trình chuyển tiếp của nó.

Giải phương trình (2.60) với các biến số: $y + \tau \frac{dy}{dt} = x_1$

$$\tau \int \frac{dy}{x_1 - y} = \int dt \rightarrow \tau \ln(x_1 - y) = t + C_1$$

$$\ln(x_1 - y) = -\frac{t}{\tau} + C_2$$

$$x_1 - y = e^{-\frac{t}{\tau} + C_2} = e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot e^{C_2} = C_3 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Ở thời điểm ban đầu, khi $t = 0$ thì $y = 0$, do đó:

$$0 = x_1 - C_3 e^{-0} \rightarrow C_3 = x_1$$

Thay hằng số C_3 , ta có phương trình của lượng di động y trong quá trình chuyển tiếp:

$$y = x_1 - x_1 e^{-\frac{t}{\tau}} = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})X_1 \quad (2.61)$$

Phương trình chuyển tiếp này được thể hiện ở hình 2.17b. Nó có dạng hàm mũ và ta có thể xác định giá trị của y ở thời điểm $t = \tau$:

$$y(\tau) = (1 - e^{-1})x_1 = \left(1 - \frac{1}{2,72}\right)x_1 = 0,632x_1 \quad (2.62)$$

Tức là ở thời điểm $t = \tau$, toàn bộ quá trình diễn biến của y được thực hiện 63,2%.

Một đặc điểm khác của hàm mũ này là: tiếp tuyến ở điểm $t = 0$ sẽ cắt đường thẳng đặc trưng cho giá trị ổn định ở thời điểm $t = \tau$, tức là:

$$\left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}} x_1 \Big|_{t=0} = \frac{x_1}{\tau} \quad (2.63)$$

Từ hình 2.17b ta thấy tiếp tuyến này cắt giá trị cuối $y(t)_1 = x_1$ ở $t = \tau$, nó được gọi là hằng số thời gian, đặc trưng cho mức độ nhanh chậm của quá trình chuyển tiếp. Nếu τ nhỏ, có nghĩa là, hệ thống đạt đến trạng thái ổn định trong thời gian ngắn và nếu τ lớn thì cần phải có thời gian hệ thống mới có thể ổn định.

2.6.2. Hệ số điều chỉnh số vòng quay

Hình 2.18a giới thiệu sơ đồ hệ thống điều chỉnh số vòng quay của tuabin hơi hoặc của động cơ diesel.

Với cần điều chỉnh 1, ta có thể điều chỉnh số vòng quay của động cơ với những giá trị cho trước. Trên hình 2.18, hệ thống được điều chỉnh ở vị trí cơ sở, tức là tất cả các thông số được ký hiệu bằng chữ cái nhỏ đều bằng 0 và giá trị dương của các thông số được đánh dấu theo chiều mũi tên. Trọng tâm của con lắc quay 2 đặt cách trục quay một khoảng $R = R_i + r$.

Hệ thống con lắc quay được nối với trục động cơ bằng các bánh răng và vận tốc góc ω của nó tỷ lệ thuận với vòng quay của động cơ (ở đây được coi là tín hiệu ra). Lực ly tâm của con lắc quay, qua hệ thống đòn bẩy 3 được truyền xuống phía dưới lò xo 4.

Nếu số vòng quay của động cơ giảm xuống thấp hơn giá trị đã được điều chỉnh thì lực ly tâm P_c giảm và do đó lực tác dụng phía dưới lò xo cũng giảm. Với kết quả đó, lò xo đẩy hệ thống quay di động xuống dưới của xilanh làm tăng trị số y , tức là mở rộng van điều chỉnh, đưa lượng nhiên liệu lớn hơn vào động cơ. Với lượng nhiên liệu lớn hơn (hoặc lượng hơi lớn hơn ở tuabin hơi) số vòng quay của động cơ tăng lên cho đến khi nào cả hệ thống chưa đạt đến trạng thái cân bằng.

Giả sử ta điều chỉnh cần 1 với số vòng quay lớn hơn, đầu tiên lò xo sẽ di động xuống dưới một đoạn z ; cả x và e cũng di động xuống dưới làm tăng số vòng quay của động cơ. Như thế, vị trí đầu trên của lò xo được coi là hàm số vòng quay đã được điều chỉnh. Do đó, lượng di động z của đầu trên của lò xo khỏi vị trí cơ sở là:

$$\begin{aligned} z &= C_z n \\ n &= N_c - N_i \end{aligned} \quad (2.64)$$

Ở đây: n - số vòng quay thay đổi từ trị số cơ sở.

$$C_z = \left. \frac{\partial Z}{\partial N_c} \right|_i - \text{độ dốc của đường cong } Z = f(N_c) \text{ tại điểm cơ sở ban đầu.}$$

Lực ly tâm tác dụng vào con lắc quay:

$$P_c = 2MR\omega^2 \quad (2.65)$$

Ở đây: M - khối lượng của con lắc quay.

R - khoảng cách từ trục quay của con lắc.

ω - vận tốc quay.

Vì hệ thống con lắc quay được lắp vào trục động cơ với một tỷ số truyền C_a nào đó, nên nó tỷ lệ với số vòng quay của N_k của động cơ, tức là:

$$\omega = C_a \frac{2\pi}{60} N_k$$

Ở đây: trị số $\frac{2\pi}{60}$ là hệ số để biến số vòng quay trong 1 phút N_k thành radian/s.

Thay trị số của ω vào công thức (2.65), ta có:

$$P_c = 2 \left(\frac{2\pi C_a}{60} \right)^2 MR N_k^2 = C_p MR N_k^2 \quad (2.66)$$

Ở đây: $C_p = 2 \left(\frac{2\pi C_a}{60} \right)^2$ - hệ số, biến đổi lực.

Phương trình này có hai biến số là R và N_k . Ta có thể tuyến tính hóa:

$$P_i = C_3 r + C_4 n_k \quad (2.69)$$

Ở đây $C_3 = \left. \frac{\partial P_i}{\partial R} \right|_i = C_p C_b M N_i^2$

$$C_4 = \left. \frac{\partial P_i}{\partial N_k} \right|_i = 2 C_p C_b M R_i N_i^2$$

Cần lưu ý: $N_k|_i = N|_i = N_i$

Sự thay đổi của lực lò xo với sự rút ngắn chiều dài lò xo $z - x$:

$$P_i = K (z - x) \quad (2.70)$$

Thay công thức (2.69) vào (2.70), ta có:

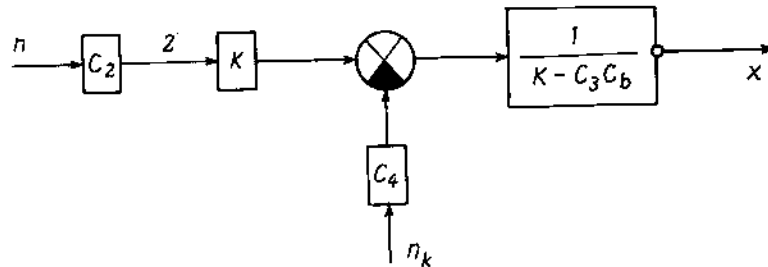
$$K (z - x) = C_3 r + C_4 n_k; \quad (2.71)$$

Từ hình 2.18 ta thấy mối quan hệ cường bức của các lượng di động của r và x do hệ thống đòn bẩy thực hiện, do đó $r = -\frac{b}{a}x = -C_b x$. Dấu “-” có nghĩa là khi r tăng thì x giảm. Thay trị số của r vào công thức (2.71), ta có thể viết:

$$Kz - Kx = C_3 C_b x + C_4 n_k;$$

Tức là: $x = \frac{Kz - C_4 n_k}{K - C_3 C_b} \quad (2.72)$

Phương trình (2.64) và (2.72) được thể hiện trên sơ đồ khối ở hình 2.19 như chức năng của bộ so.



Hình 2.19. Sơ đồ khối của cơ cấu so.

Lượng nhiên liệu Q đi qua van điều chỉnh 5 (hình 2.18) là hàm của vị trí Y , tức là:

$$Q = f(Y);$$

Ta tuyến tính hóa:

$$q = \left. \frac{\partial Q}{\partial Y} \right|_i y = C_5 y \quad (2.73)$$

Ở đây: C_5 là độ dốc của đường biểu diễn $Q - Y$ ở vị trí cơ sở.

Số vòng quay trên một phút N_k của động cơ thông thường là hàm của lưu lượng nhiên liệu Q đưa vào động cơ và mômen phụ tải M , tức là:

$$N_k = f(Q, M)$$

Và dạng được tuyến tính của nó:

$$n_k = C_6 q + C_7 m \quad (2.74)$$

Ở đây: $C_6 = \left. \frac{\partial N_k}{\partial Q} \right|_i$ - sự thay đổi của số vòng quay khi thay đổi lưu lượng nhiên liệu.

$C_7 = \left. \frac{\partial N_k}{\partial M} \right|_i$ - sự thay đổi số vòng quay khi thay đổi mômen của phụ tải.

Trong trường hợp lưu lượng nhiên liệu Q không đổi, số vòng quay sẽ giảm khi tăng phụ tải, vì thế nên C_7 là số âm.

Đối với động cơ lớn, ta không thể bỏ qua mômen quán tính. Do đó, sự thay đổi mômen phụ tải m_f và sự thay đổi mômen quán tính $\frac{2\pi}{60} \theta p n_k$ cần thiết khi tăng tốc hoặc giảm tốc, tức là:

$$m = m_f + \frac{2\pi}{60} \theta p n_k \quad (2.75)$$

Thay công thức (2.75) vào (2.74) ta có:

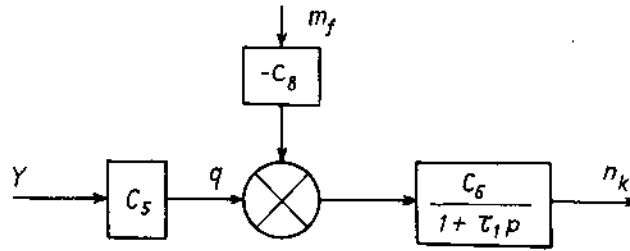
$$n_k = C_6 q - C_7 m_f - C_7 \frac{2\pi}{60} \theta p n_k$$

$$\text{Từ đây: } n_k = \frac{C_6 q - C_7 m_f}{1 + C_7 \frac{2\pi}{60} \theta p} = \frac{C_6 q - C_7 m_f}{1 + \tau_1 p} = \frac{C_6}{1 + \tau_1 p} (q - C_8 m_f) \quad (2.76)$$

$$\text{Ở đây } \tau_1 = C_7 \frac{2\pi}{60} \theta$$

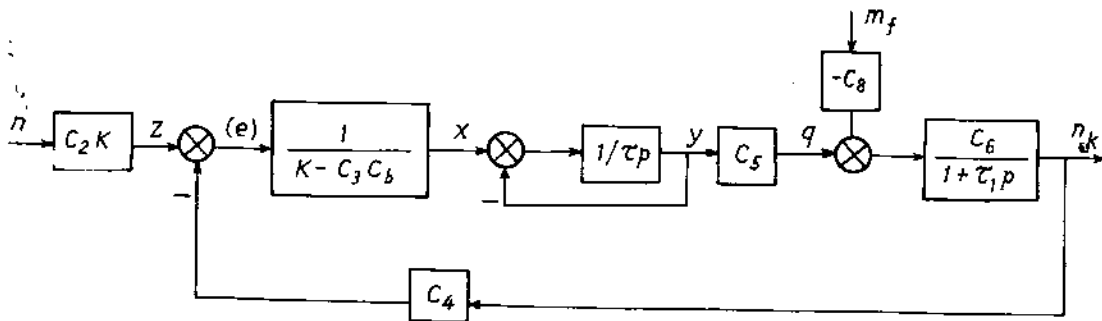
$$C_8 = \frac{C_7}{C_6}$$

Các phương trình (2.73) và (2.76) thể hiện đặc điểm của động cơ được trình bày theo dạng sơ đồ khối ở hình 2.20.



Hình 2.20. Sơ đồ khối của động cơ.

Từ các sơ đồ khối của hình (2.16c) với $\tau = \frac{2A}{C_1}$, sơ đồ khối (2.19) và (2.20), ta có thể vẽ sơ đồ khối của toàn bộ hệ thống điều chỉnh số vòng quay ở hình 2.21.



Hình 2.21. Sơ đồ khối hệ thống điều chỉnh số vòng quay.

Hệ thống điều khiển loại này thường có các nhiễu từ bên ngoài tác dụng vào. Nhiễu bên ngoài là loại tác dụng độc lập, ảnh hưởng không tốt vào hệ thống làm việc. Trong trường hợp của chúng ta nhiễu là tín hiệu m_f - là sự thay đổi của mômen phụ tải bên ngoài. Chúng ta coi các loại nhiễu từ bên ngoài như là những tín hiệu vào có tác dụng không tốt vào điều kiện làm việc và nó luôn làm ảnh hưởng đến các tín hiệu được điều khiển.

Sơ đồ khối ở hình 2.21 thể hiện đầy đủ các dạng thông tin (tín hiệu) và các tác động tương hỗ giữa chúng. Nghiên cứu trạng thái động của hệ thống là nghiên cứu sự thay đổi của các thông số so với một trạng thái cơ sở nào đó. Vì thế, nếu cần xác định một giá trị tuyệt đối thì phải cộng thêm các giá trị cơ sở vào, tức là từ n ta có thể xác định N , từ n_k có thể xác định N_k .

Để có thể đơn giản vòng trong, ta tiến hành như sau:

Ta đặt: $z - C_4 n_k = e$

Từ sơ đồ khối hình 2.21 ta có thể viết:

$$\left(e \frac{1}{K - C_3 C_6} - \frac{q}{C_5} \right) \frac{1}{\tau p} = y \quad (2.77)$$

và $q = C_5 v$

Rút trị số y từ phương trình này và thay vào phương trình (2.77), ta có:

$$\left(e \frac{1}{K - C_3 C_b} - \frac{q}{C_5} \right) \frac{1}{\tau p} = \frac{q}{C_5}$$

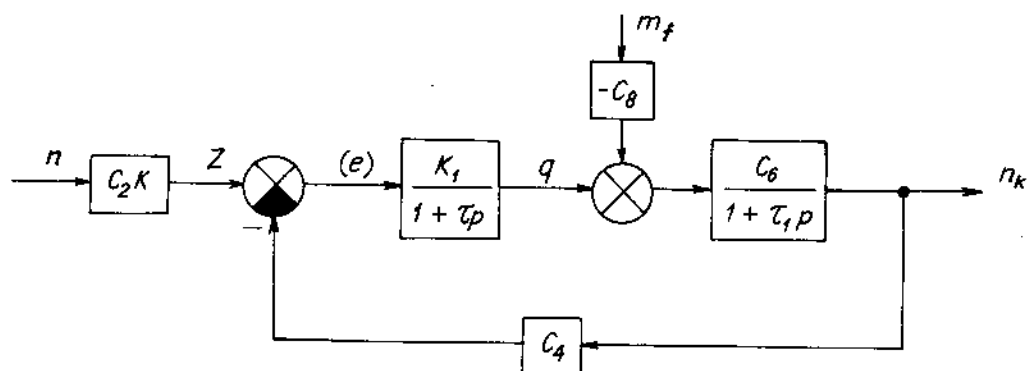
Sắp xếp lại ta được:

$$e \frac{1}{K - C_3 C_b} - \frac{1}{\tau p} = \frac{q}{C_5} \left(1 + \frac{1}{\tau p} \right) = \frac{q}{C_5} \left(\frac{\tau p + 1}{\tau p} \right)$$

Nếu đặt $K_1 = \frac{C_5}{K - C_3 C_b}$ ta có:

$$e \frac{K_1}{1 + \tau p} = q \quad (2.78)$$

(2.78) là phương trình đặc trưng cho mối quan hệ giữa tín hiệu vào (e) và tín hiệu ra (q) ở vòng trong của sơ đồ khối. Do đó, thay cho sơ đồ khối của hình 2.21 ta có sơ đồ khối đơn giản hơn của hệ thống điều chỉnh số vòng quay, hình 2.22:



Hình 2.22. Sơ đồ khối đơn giản hóa của hệ thống điều chỉnh số vòng quay.

Từ sơ đồ hình 2.22, ta có thể xác định dạng toán tử của phương trình vi phân đặc trưng cho mối quan hệ giữa tín hiệu ra (tín hiệu được điều chỉnh) n_k , tín hiệu vào n và tín hiệu nhiễu m_f . Cách tiến hành như sau: trừ tín hiệu phản hồi $C_4 n_k$ ra khỏi tín hiệu cơ sở (tín hiệu vào) $C_2 K_1 n$ sau đó viết các bài toán dọc theo chiều tác dụng và cuối cùng xác định tín hiệu ra n_k , tức là:

$$\left\{ \left[(C_2 K_1 n - C_4 n_k) \frac{K_1}{1 + \tau p} \right] - C_8 m_f \right\} \frac{C_6}{1 + \tau_1 p} = n_k$$

Từ phương trình trên ta có thể rút ra trị số n_k :

$$n_k = \frac{C_2 C_6 K_1 n - C_6 C_8 (1 + \tau p) m_f}{(1 + \tau p)(1 + \tau_1 p) + C_4 C_6 K_1} \quad (2.79)$$

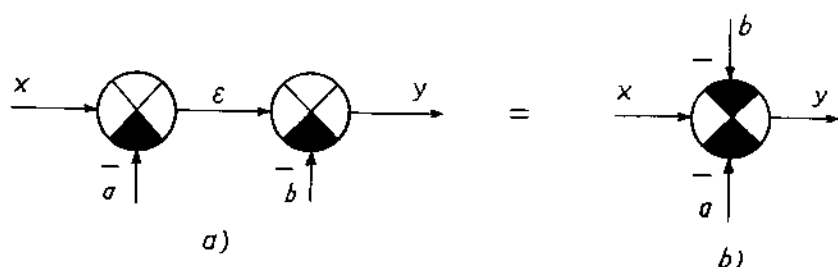
Phương trình (2.79) là biến đổi của phương trình vi phân tuyến tính có hệ số không đổi. Chúng ta sẽ đề cập đến việc giải loại phương trình này bằng biến đổi Laplace.

2.6.3. Đại số sơ đồ khối

Như trên ta thấy: sơ đồ khối của một hệ thống điều khiển thường rất phức tạp, cần được đơn giản hóa về một dạng cơ bản nào đó. Nội dung của đại số sơ đồ khối là tìm các phương pháp để đơn giản sơ đồ khối.

Cần lưu ý là, quá trình biến đổi không làm thay đổi mối quan hệ tổng quát giữa tín hiệu ra và tín hiệu vào của một phần tử điều khiển. Trên cơ sở đó, ta có nhiều cách biến đổi khác nhau:

a) Cộng các bộ so sánh:



Hình 2.23. Cộng các bộ so sánh.

Từ hình (2.23a) ta có thể viết:

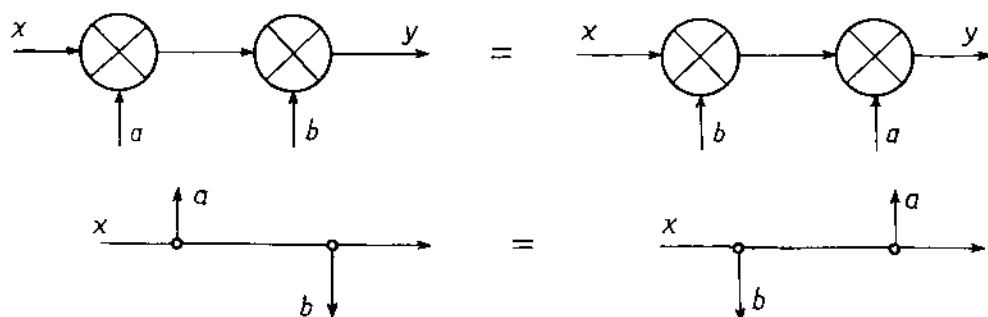
$$\varepsilon = x - a$$

và
$$y = \varepsilon - b = x - a - b \quad (2.80)$$

Công thức (2.80) được thể hiện bằng một sơ đồ tương đương theo hình 2.23b.

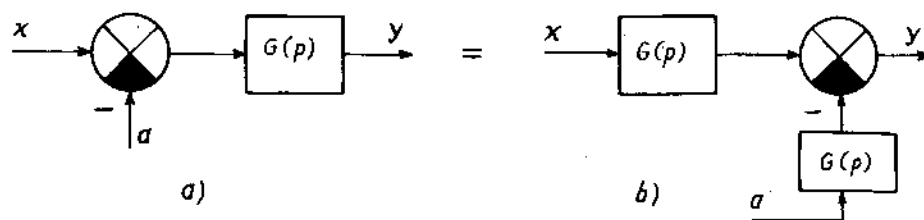
b) Hoán vị hai tín hiệu vào (hoặc ra)

Hoán vị hai tín hiệu vào (hoặc ra) với nhau thì sơ đồ khối không thay đổi (hình 2.23).



Hình 2.24. Hoán vị hai tín hiệu.

c) Chuyển bộ so ra sau một khâu:



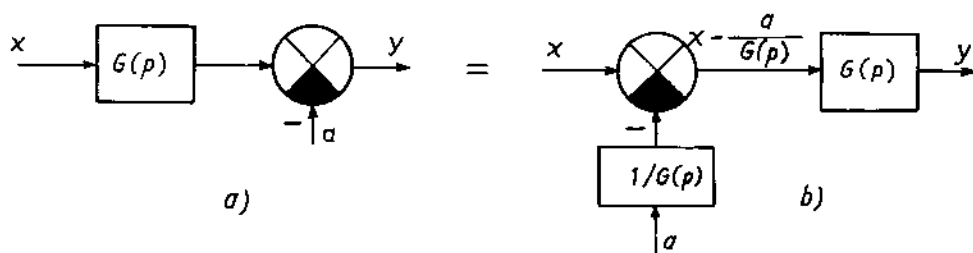
Hình 2.25. Chuyển bộ so ra sau một khâu.

Từ hình 2.25a ta có:

$$y = (x - a) G(p) = xG(p) - aG(p) \quad (2.81)$$

Vế thứ ba được thể hiện trên hình 2.25b. Rõ ràng là đặt bộ so sánh sau một khâu, các tín hiệu vào phải đi qua một khâu mới đúng bằng khâu đó.

d) Chuyển bộ so ra trước một khâu:



Hình 2.26. Chuyển bộ so ra trước một khâu.

Từ hình 2.26a ta có:

$$y = xG(p) - a \quad (2.82)$$

Nếu đặt bộ so ra trước khâu $G(p)$, thì từ phương trình (2.82), ta cần biến đổi thành dạng:

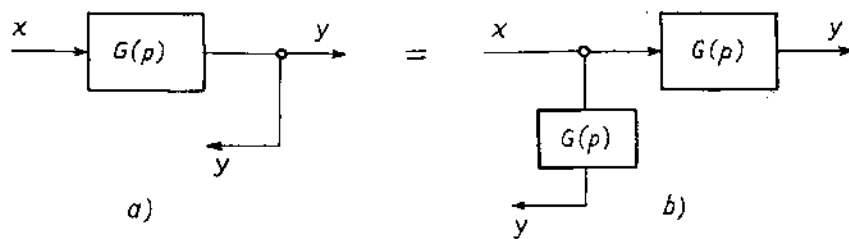
$$y = \left[x - \frac{a}{G(p)} \right] G(p) \quad (2.83)$$

Phương trình (2.83) được thể hiện trên hình 2.26b, có nghĩa là, đặt bộ so trước một khâu, một tín hiệu vào phải đi qua một khâu có giá trị bằng số đảo của khâu đó.

e) Chuyển nút rẽ ra trước một khâu:

Từ hình 2.27a ta có:

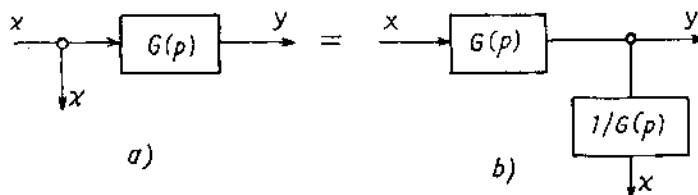
$$y = xG(p)$$



Hình 2.27. Chuyển nút rẽ ra trước một khâu.

Tín hiệu ra vẫn không thay đổi khi nút rẽ chuyển ra trước một khâu, nếu tín hiệu vào x cho vào một khâu mới đúng bằng khâu đó.

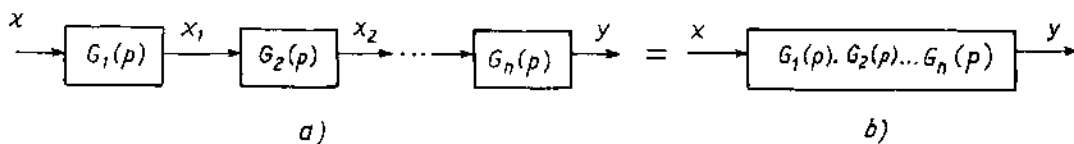
f) Chuyển nút rẽ ra sau một khâu:



Hình 2.28. Chuyển nút rẽ ra sau một khâu.

Để có tín hiệu rẽ x không đổi sau khi chuyển nút rẽ ra sau một khâu, tín hiệu ra y phải qua một khâu có giá trị bằng số đảo của khâu ấy, hình 2.28.

g) Mắc nối tiếp các khối:



Hình 2.29. Mắc nối tiếp các khối.

Từ hình 2.29a ta có thể viết:

$$x_1 = xG_1(p)$$

$$x_2 = x_1G_2(p) = x.G_1(p).G_2(p)$$

....

$$y = x_{n-1} G_n(p) = x.G_1(p).G_2(p) \dots G_n(p) = x \prod_{i=1}^n G_i(p) \quad (2.84)$$

Công thức (2.84) được thể hiện trên hình 2.29b, ta thấy rằng nếu các khâu mắc nối tiếp nhau, thì hàm tương đương sẽ bằng tích của các hàm thành phần.

h) Mắc song song các khối

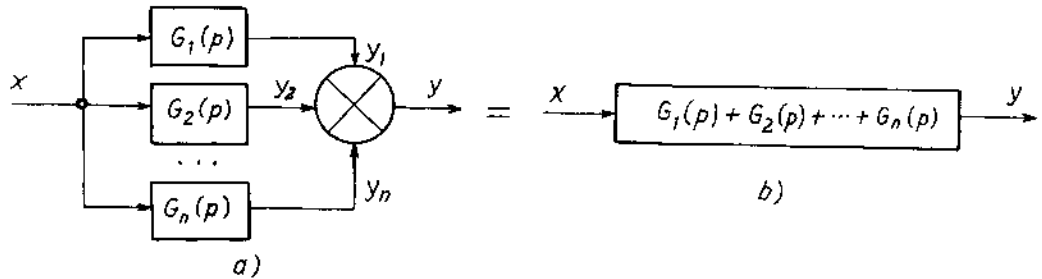
Từ hình 2.30a ta có:

$$y_1 = xG_1(p) \quad y_2 = xG_2(p)$$

...

$$y_n = xG_n(p)$$

$$y = y_1 + y_2 + \dots + y_n = x[G_1(p) + G_2(p) + \dots + G_n(p)] = x \sum_{i=1}^n G_i(p) \quad (2.85)$$



Hình 2.30. Mắc song song các khối.

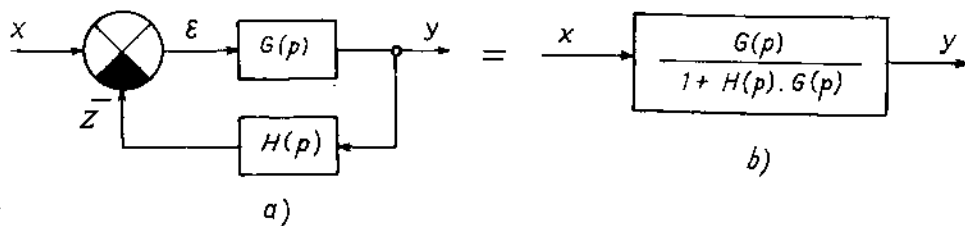
Công thức (2.85) được thể hiện ở hình 2.30b, tức là, nếu các khâu mắc song song với nhau, ta sẽ có hàm tương đương bằng tổng của các hàm thành phần.

i) Đơn giản khâu phản hồi:

Nếu là phản hồi âm như ở hình 2.31a, ta có thể viết:

$$\varepsilon = x - z = x - yH(p)$$

$$y = \varepsilon G(p) = [x - yH(p)] G(p) = xG(p) - yH(p) G(p)$$



Hình 2.31. Đơn giản khâu phản hồi.

Từ đây ta rút y:

$$y = \frac{G(p)}{1 + H(p)G(p)} x \quad (2.86)$$

Công thức (2.86) được thể hiện trên hình 2.31b.

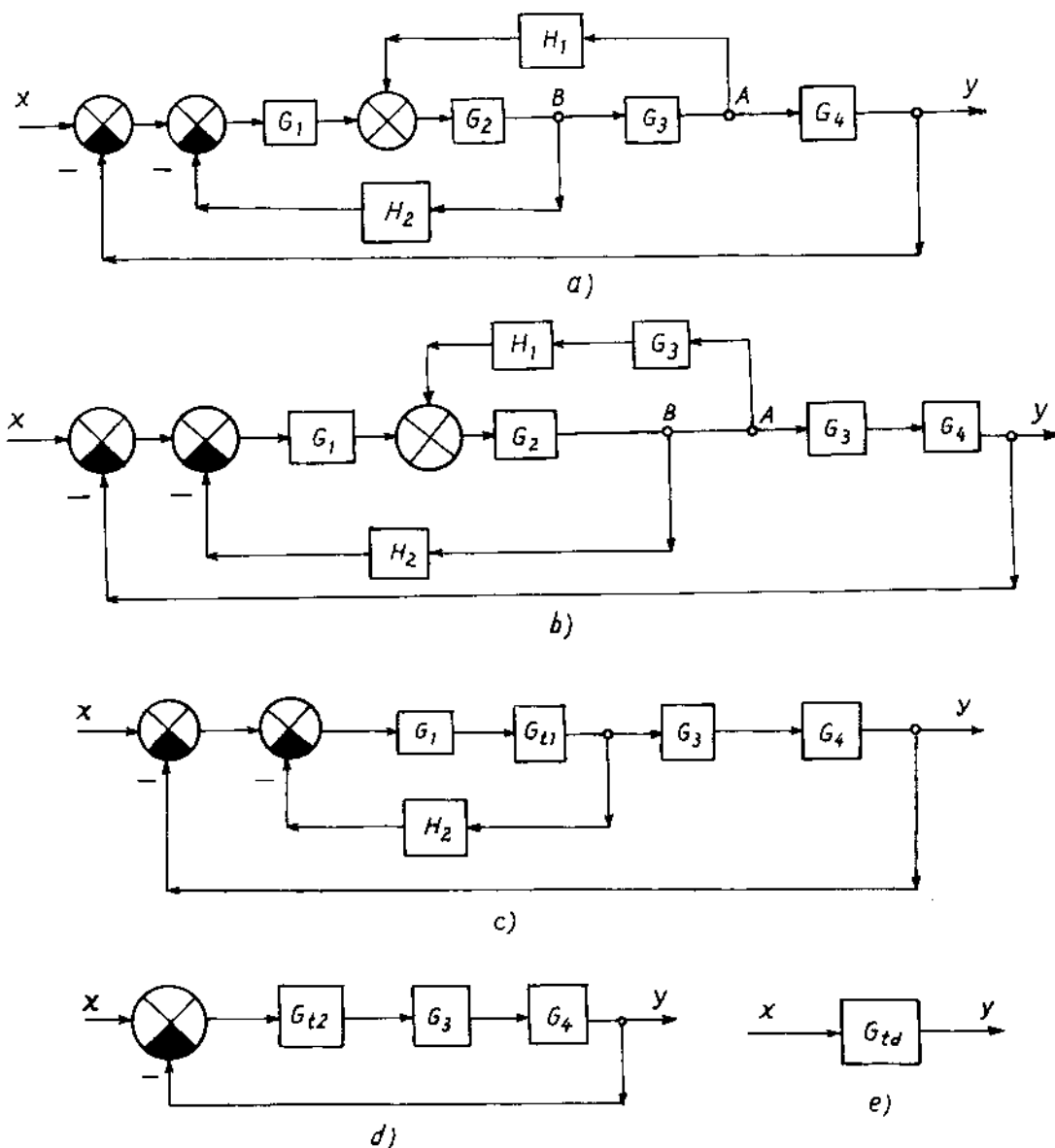
Nếu là phản hồi dương, ta cũng chứng minh tương tự như trên, và có:

$$y = \frac{G(p)}{1 - H(p)G(p)} x \quad (2.87)$$

Với việc dùng các phương pháp biến đổi nói trên, ta có thể biến đổi những sơ đồ khối phức tạp thành những sơ đồ khối có dạng tổng quát nhất.

k) Thí dụ về việc đơn giản sơ đồ khối

Ta hãy ứng dụng các qui tắc trên để đơn giản sơ đồ khối hình 2.32:



Hình 2.32. Đơn giản sơ đồ khối.

Để đơn giản sơ đồ khối theo hình 2.32a ta bắt đầu bằng việc chuyển nút A ra trước khối G_3 và được thể hiện theo sơ đồ 2.32b.

Tín hiệu từ A và B có thể hoán vị cho nhau (hoặc đặt trùng nhau) và tạo thành mạch phản hồi dương G_2 ; G_3 ; H_1 . Ta có thể viết hàm tương đương của mạch này trên cơ sở công thức (2.87).

$$G_{t1} = \frac{G_2}{1 - G_2 G_3 H_1}$$

Sơ đồ đơn giản của vòng này được thể hiện trên hình 2.32c. Từ sơ đồ ở hình 2.32c ta viết được hàm tương đương của mạch phản hồi âm G_1 ; G_{t1} ; H_2 trên cơ sở công thức (2.86):

$$G_{t2} = \frac{G_1 G_{t1}}{1 - G_1 G_{t1} H_2}$$

Ta thể hiện sơ đồ đơn giản của mạch này ở hình 2.32d và hình này có thể tiếp tục đơn giản nữa với việc tính hàm tương đương của toàn hệ thống trên cơ sở công thức (2.86):

$$G_{td} = \frac{G_{t2} G_3 G_4}{1 - G_{t2} G_3 G_4}$$

Và sơ đồ khối đơn giản tương đương với sơ đồ khối hình 2.32a được thể hiện ở hình 2.32e.

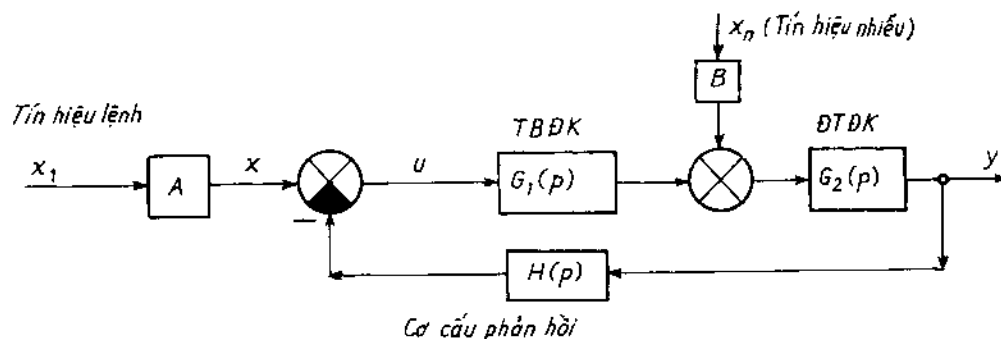
Ngoài việc dùng sơ đồ khối để biểu diễn các mô tả toán học của hệ thống điều khiển, người ta còn dùng một dạng biểu diễn khác gọi là graf tín hiệu. Các qui tắc của graf biến đổi tín hiệu cũng giống như các biến đổi sơ đồ khối, nhưng graf tín hiệu biểu diễn các mô tả toán học đơn giản hơn và có thể tìm mô tả toán học chung cho cả hệ thống một cách tổng quát hơn.

2.7. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TỔNG QUÁT

Thông thường sơ đồ khối của một hệ thống điều khiển cần phải biến đổi để thành một dạng tổng quát nhất như sơ đồ hình 2.33.

Thông thường tín hiệu lệnh x_1 (hoặc tín hiệu chỉ đạo) không phải đưa trực tiếp vào cơ cấu so sánh, mà cần phải đưa qua cơ cấu biến đổi tín hiệu vào A. Tương tự tín hiệu được điều khiển (tín hiệu ra) trước tiên cũng phải được biến đổi bằng cơ cấu phản hồi H_p sau đó mới đưa vào bộ so. Tín hiệu điều khiển U trước tiên được khuếch đại ở thiết bị điều khiển (TĐK) $G_1(p)$ và sau đó đưa sang giai đoạn điều khiển, tức là tác dụng lên đối tượng điều khiển (ĐTĐK) $G_2(p)$. Tín hiệu nhiễu x_n có tác dụng tiêu cực đối với hệ thống và tác dụng độc lập lên hệ thống. Nó cần phải được đưa

qua cơ cấu tạo thành hàm tín hiệu nhiễu B . Trên hình 2.33 thể hiện sự tác động của tín hiệu nhiễu vào giữa thiết bị điều khiển và đối tượng điều khiển, nhưng thông thường nó có thể tác dụng vào bất cứ điểm nào của hệ thống.



Hình 2.33. Sơ đồ khối tổng quát của hệ thống điều khiển.

Điều cần lưu ý là, tín hiệu được điều khiển y (tín hiệu ra) không nhất thiết là đại lượng ta muốn điều khiển. Thí dụ, hệ thống điều hòa nhiệt độ trong phòng là điều chỉnh nhiệt độ trong môi trường không khí, nhưng nhiệt độ của các nơi trong phòng cũng có thể rất khác nhau, tùy thuộc vào sự luân chuyển của không khí. Nhưng với mục đích lý tưởng của hệ thống điều khiển này là đảm bảo sự thoải mái cho những người ở trong phòng, mà điều này lại phụ thuộc rất nhiều vào độ ẩm và trang bị trong phòng, v.v... Do đó, rõ ràng là tín hiệu ra không nhất thiết là đại lượng mà ta muốn điều khiển.

Chương 3

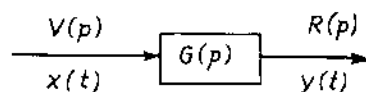
CÁC KHÂU ĐỘNG HỌC CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

3.1. KHÁI NIỆM VỀ KHÂU ĐỘNG HỌC

Ở chương 2, ta đã xét đến những vấn đề về mô tả toán học cho từng phần tử điều khiển. Từ đó, ta có thể thấy, có những phần tử điều khiển có những dạng mô tả toán học giống nhau (thí dụ như mô tả toán học của thiết bị giảm chấn và phần tử quay của bộ tích phân và điện áp trên điện dung, v.v...). Do đó, nếu những phần tử điều khiển có dạng mô tả toán học giống nhau được xếp vào một loại, thì tập hợp các phần tử đó được gọi là **khâu động học**, có khi còn được gọi là thừa số động học.

Như thế, khái niệm khâu động học ở đây được xét về phương diện mô hình toán học. Một khâu động học có thể đặc trưng bằng một phần tử vật lý nào đó, nhưng cũng có khâu chỉ được phân loại theo tính chất toán học đơn thuần.

Mô tả toán học của một khâu được biểu diễn theo dạng sơ đồ khối ở hình 3.1.



Hình 3.1. Mô tả toán học của khâu động học.

Nội dung mô hình toán học trên được thể hiện qua hàm truyền đạt $G(p)$. Vậy hàm truyền đạt của một khâu (hay của một hệ thống) là tỷ số của lượng ra trên lượng vào được biểu diễn theo dạng toán tử (thường là toán tử Laplace với các điều kiện ban đầu triệt tiêu).

Do đó, nếu gọi $R(p)$ là lượng ra, $V(p)$ là lượng vào, ta có hàm truyền đạt của một khâu:

$$G(p) = \frac{R(p)}{V(p)} \quad (3.1)$$

Hàm truyền đạt không phải là điều không thể thiếu để nghiên cứu động học của hệ thống điều khiển, vì ta có thể nghiên cứu sự tác động của từng khâu đối với tín hiệu vào bằng đồ thị, không cần hàm truyền đạt. Tuy thế, hàm truyền đạt vẫn là phương tiện vô cùng cần thiết để nghiên cứu các đặc tính động học của khâu.

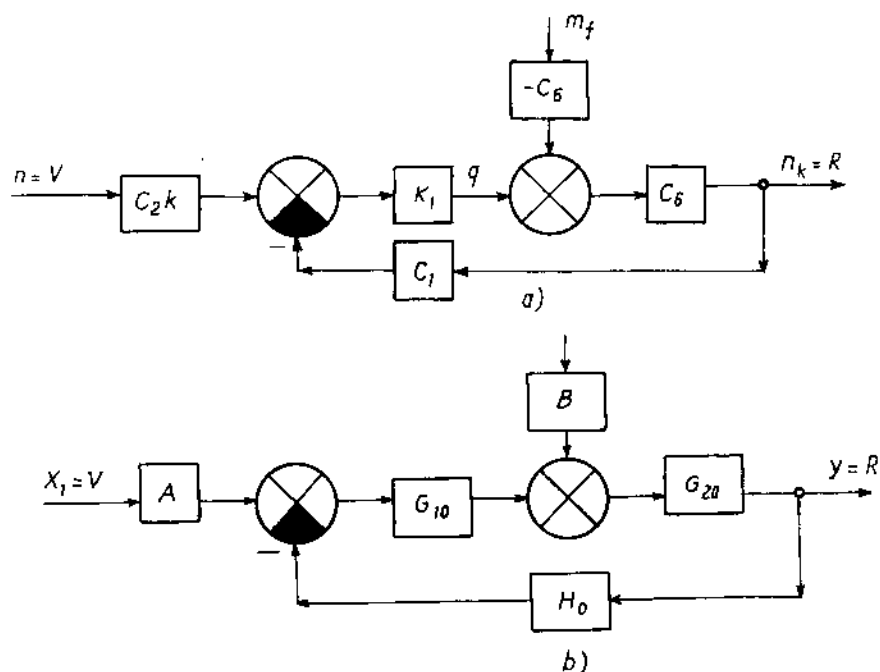
Dựa vào đặc điểm của phương trình vi phân, các khâu động học có thể phân thành 4 loại: khâu nguyên hàm, khâu vi phân, khâu tích phân và khâu hỗn hợp.

Việc phân loại trên được thực hiện dựa vào mối quan hệ giữa tín hiệu ra và tín

hiệu vào ở trạng thái ổn định. Do đó, trước khi phân tích đặc điểm của từng khâu ta hãy nghiên cứu một số đặc điểm của trạng thái ổn định.

3.2. TRẠNG THÁI ỔN ĐỊNH

Trạng thái ổn định (còn được gọi là trạng thái xác lập) là một trạng thái cân bằng khi không có một thông số nào của hệ thống thay đổi theo thời gian. Hệ thống điều khiển sẽ luôn làm việc ở trạng thái cân bằng cho đến khi nào tín hiệu chủ đạo thay đổi, hoặc sự nhiễu bên ngoài tác dụng vào hệ thống. Ngược lại với trạng thái ổn định là trạng thái chuyển tiếp (có khi còn gọi là trạng thái quá độ). Trạng thái chuyển tiếp sẽ xảy ra nếu như một thông số nào đó của hệ thống thay đổi theo thời gian.



Hình 3.2. Sơ đồ khối ở trạng thái ổn định.

Từ sơ đồ khối đơn giản hóa của hệ thống điều chỉnh số vòng quay ở hình 2.21 ta có thể viết được phương trình vi phân thể hiện mối quan hệ giữa tín hiệu ra n_k , tín hiệu vào n và tín hiệu nhiễu m_f . Ở trạng thái ổn định các trị số n_k , n và m_f có giá trị không đổi, nên các tích được tạo nên với p đều bằng 0, tức là $p.n_k = \frac{d}{dt}n_k \Big|_0 = 0$ v.v... (ký hiệu $\Big|_0$ và các chỉ số đánh dấu 0 đặc trưng cho trạng thái ổn định). Do đó, từ phương trình (2.79), ta có thể viết phương trình đặc trưng cho trạng thái ổn định của hệ thống điều chỉnh có số vòng quay là:

$$n_k \Big|_0 = \frac{C_2 C_6 K_1 K_n - C_6 C_8 m_f}{1 + C_4 C_6 K_1} \quad (3.2)$$

Phương trình (3.2) cũng có thể xác định từ sơ đồ khối ở hình 2.21 với việc thay thế $p = 0$. Sơ đồ khối ở trạng thái ổn định của hệ thống điều chỉnh số vòng quay được thể hiện ở hình 3.2a và dạng tổng quát ở trạng thái ổn định theo hình 3.2b.

Nếu ta ký hiệu các hàm truyền đạt ở trạng thái ổn định, tức là khi $p = 0$:

$$G_{10} = [G_1(p)]_o; G_{20} = [G_2(p)]_o; H_o = [H(p)]_o. \quad (3.3)$$

thì phương trình ở trạng thái ổn định có thể viết từ hình 3.2b;

$$[(Av_1 - H_o r) G_{10} + Bv_n] G_{20} = r.$$

Từ đây ta có thể xác định r :

$$r = \frac{AG_{10}G_{20}}{1 + G_{10}G_{20}H_o} v_1 + \frac{BG_{20}}{1 + G_{10}G_{20}H_o} v_n \quad (3.4)$$

Nếu thay các đại lượng tương ứng của hệ thống điều chỉnh số vòng quay vào phương trình (3.4): $r = n_k$, $v_1 = n$, $v_n = m$, $A = C_2K_1$, $B = -C_3$, $G_{10} = K_1$, $G_{20} = C_0$ và $H_o = C_4$; ta sẽ có phương trình (3.2).

Trên thực tế, hằng số A trong phương trình (3.4) là tỷ lệ xích của đĩa chia độ tín hiệu chủ đạo. Để cho hệ số của v_1 là một đơn vị, ta cần xác định trị số của A :

$$\frac{AG_{10}G_{20}}{1 + G_{10}G_{20}H_o} = 1$$

Từ đây:

$$A = \frac{1 + G_{10}G_{20}H_o}{G_{10}G_{20}} = \frac{1}{G_{10}G_{20}} + H_o \quad (3.5)$$

Nếu trị số A được chọn lựa theo công thức (3.5), hệ số của v_1 sẽ là một đơn vị, và do đó, phương trình (3.4) sẽ có dạng mới:

$$r = v_1 + \frac{BG_{20}}{1 + G_{10}G_{20}H_o} v_n = v_1 + \frac{B}{1/G_{20} + G_{10}H_o} v_n \quad (3.6)$$

Tín hiệu được điều khiển r sẽ bằng với tín hiệu lệnh v_1 (hoặc tín hiệu chủ đạo), nếu hệ số của v_n bằng 0. Hệ số này sẽ bằng 0, nếu G_{10} hoặc H_o là vô cực. Từ phương trình (3.5) ta thấy rằng: nếu $H_o = \infty$ thì $A = \infty$, điều này là không thể được về mặt vật lý, do đó chỉ có thể lấy $G_{10} = \infty$. Điều này có thể thực hiện được, nếu cho vào hệ thống điều khiển một khâu có đặc trưng bằng thừa số $1/p$. Khâu này sẽ cho một hằng số bằng ∞ ở trạng thái ổn định. Khâu này được gọi là *khâu tích phân*.

Thông thường, hệ thống điều khiển cũng có thể làm việc bình thường, nếu hệ số của tín hiệu nhiễu v_n tương đối nhỏ, tức là những thay đổi của tín hiệu nhiễu chỉ dẫn đến sai số bé. Những hệ thống điều khiển có hệ số của v_n bé, được coi là hệ

thống (khâu) tỷ lệ. Ta sẽ đề cập cụ thể hơn về hai khâu này ở chương sau.

3.3. CÁC KHÂU ĐỘNG HỌC ĐIỂN HÌNH

3.3.1. Khâu nguyên hàm

Khâu nguyên hàm là khâu động học mà ở trạng thái ổn định (trạng thái xác lập) lượng ra $r(t)$ tỷ lệ với lượng vào $v(t)$. Khâu nguyên hàm còn gọi là khâu P. Khâu nguyên hàm có thể chia thành các khâu điển hình sau đây:

- 1) Khâu tỷ lệ (khâu khuếch đại) có hàm truyền đạt là một hằng số k , tức là:

$$G(p) = k.$$

Những phần tử điều khiển điển hình thuộc khâu này như lò xo, biến trở, hệ thống đòn bẩy, hệ thống điều chỉnh số vòng quay, v.v...

- 2) Khâu quán tính bậc một có hàm truyền đạt là:

$$G(p) = \frac{k}{\tau p + 1}$$

Những phần tử thuộc khâu này ta đã biết như: động cơ điều khiển bằng dầu ép, động cơ nổ, tuabin, v.v...

- 3) Khâu dao động có hàm truyền đạt có dạng:

$$G(p) = \frac{k}{\tau p^2 + 2\zeta\tau p + 1}$$

Ở đây $2\zeta\tau = \text{const}$ nào đó mà ta sẽ xét sau. Điển hình của khâu này là thiết bị giảm chấn, phần tử quay, mạch dao động điện, v.v...

- 4) Khâu không ổn định bậc một có hàm truyền là:

$$G(p) = \frac{k}{\tau p - 1}$$

Khâu nguyên hàm điển hình là hệ thống điều chỉnh số vòng quay mà ta đã đề cập đến ở hình 2.17 và sơ đồ khối ở trạng thái ổn định của nó được thể hiện trên hình 3.2. Từ những ký hiệu trên sơ đồ khối nói trên, ta có tỷ lệ xích của đĩa chia độ tín hiệu chủ đạo:

$$A = C_2 K$$

Để cho hệ số của tín hiệu chủ đạo là một đơn vị, ta cần phải xác định A theo công thức (3.5), tức là:

$$A = \frac{1}{G_{10}G_{20}} + H_0 = \frac{1}{K_1C_6} + C_4$$

Từ hai phương trình trên, ta rút trị số C_2 :

$$C_2 = \frac{1}{K} \left(\frac{1}{K_1C_6} + C_4 \right) \quad (3.7)$$

Ta đã biết $C_2 = \frac{\partial Z}{\partial N}$, một số hạng trong phương trình (3.7) là đạo hàm riêng

trên trị số cơ sở, nên C_2 cũng phụ thuộc vào các giá trị cơ sở. Điều này sẽ làm cho C_2 trở thành phi tuyến. Để loại trừ các phần chia độ là phi tuyến, ta dùng cam để điều chỉnh vị trí của lò xo theo hình 3.3.

Với cơ cấu trên hình 3.3 dễ dàng thỏa mãn các điều kiện ở phương trình (3.7) để xác định trị số C_2 làm cho hệ số của tín hiệu chủ đạo là một đơn vị. Trên cơ sở này từ phương trình (3.2), ta có thể viết phương trình diễn hình đặc trưng cho mối quan hệ giữa tín hiệu vào, tín hiệu ra và tín hiệu nhiễu của khâu nguyên hàm:

$$n_k = n - \frac{C_6C_8}{1 + C_4C_6K_1} m_f \quad (3.8)$$

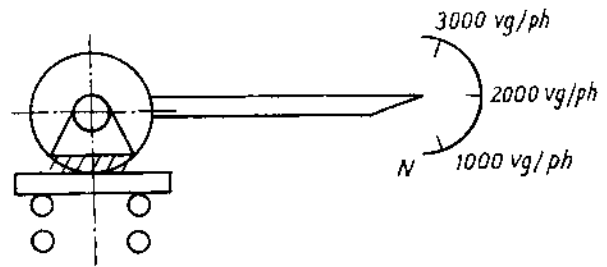
Nếu như mômen phụ tải m_f khác với trị số cơ sở m_{f0} (tức là $m_f \neq 0$), thì n_k không bằng n . Giả sử như hệ thống của ta dùng để điều chỉnh số vòng của tuabin khí trên máy bay và mômen phụ tải khi bay ở vị trí nằm ngang là m_{f0} . Nếu máy bay bắt đầu bay cao hơn, mômen phụ tải m_f sẽ lớn hơn ($m_f > 0$), vận tốc của máy bay sẽ nhỏ hơn trị số điều chỉnh. Theo sơ đồ ở hình 2.17, trị số v sẽ di động xuống phía dưới, trên cơ sở đó lượng nhiên liệu sẽ tăng lên để làm tăng vận tốc của tuabin.

3.3.2. Khâu vi phân

Khâu vi phân là khâu động học mà ở trạng thái ổn định lượng ra $r(t)$ tỷ lệ với đạo hàm lượng vào $p v = \frac{dv}{dt}$. Khâu này còn được gọi là khâu D.

Ta có thể phân biệt các khâu vi phân sau đây:

- 1) Khâu vi phân lý tưởng: $G(p) = kp$.



Hình 3.3. Điều chỉnh lò xo bằng cam để tuyến tính hóa phần chia độ.

2) Khâu vi phân là một khâu động học thuần túy bậc một có:

$$G(p) = \tau p + 1 \text{ hoặc } G(p) = \tau p - 1.$$

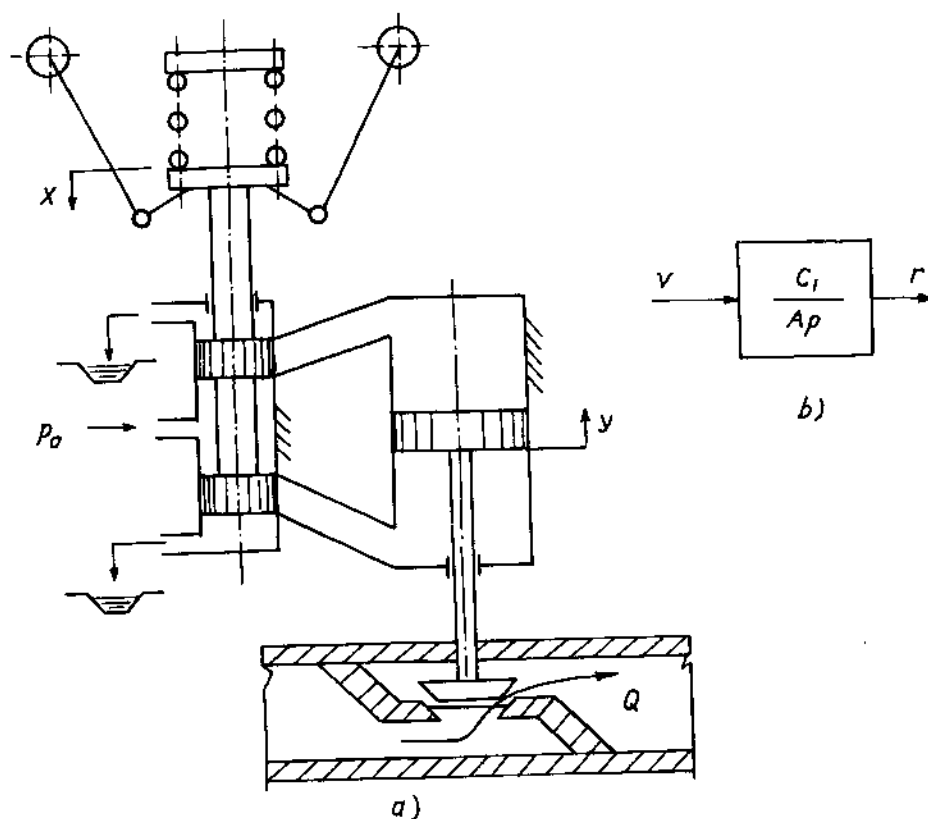
Trong trường hợp lượng vào là một hằng, thì lượng ra của khâu vi phân lý tưởng sẽ bằng 0, tức là ở trạng thái ổn định, hàm truyền đạt của khâu này:

$$G_0(p) = (kp)_{p=0} = 0. \quad (3.9)$$

Do đó, ở khâu này, với bất kỳ mọi lượng vào là hằng, thì đều có thể có trạng thái ổn định. Vì khâu vi phân làm việc phụ thuộc vào vận tốc thay đổi của lượng vào, chứ không phụ thuộc vào giá trị của lượng vào, cho nên nó không bao giờ được sử dụng như một phần tử điều khiển riêng biệt, mà được dùng làm phần tử hỗ trợ cho các khâu tỷ lệ, khâu tích phân hoặc khâu hỗn hợp tỷ lệ-tích phân.

Ưu điểm của khâu vi phân ở chỗ: tín hiệu vi phân là giá trị của vận tốc thay đổi và do đó, có thể dự kiến trước trạng thái ổn định. Khâu này chỉ được dùng trong những hệ thống tác động chậm, thường là các quá trình công nghiệp qui mô lớn.

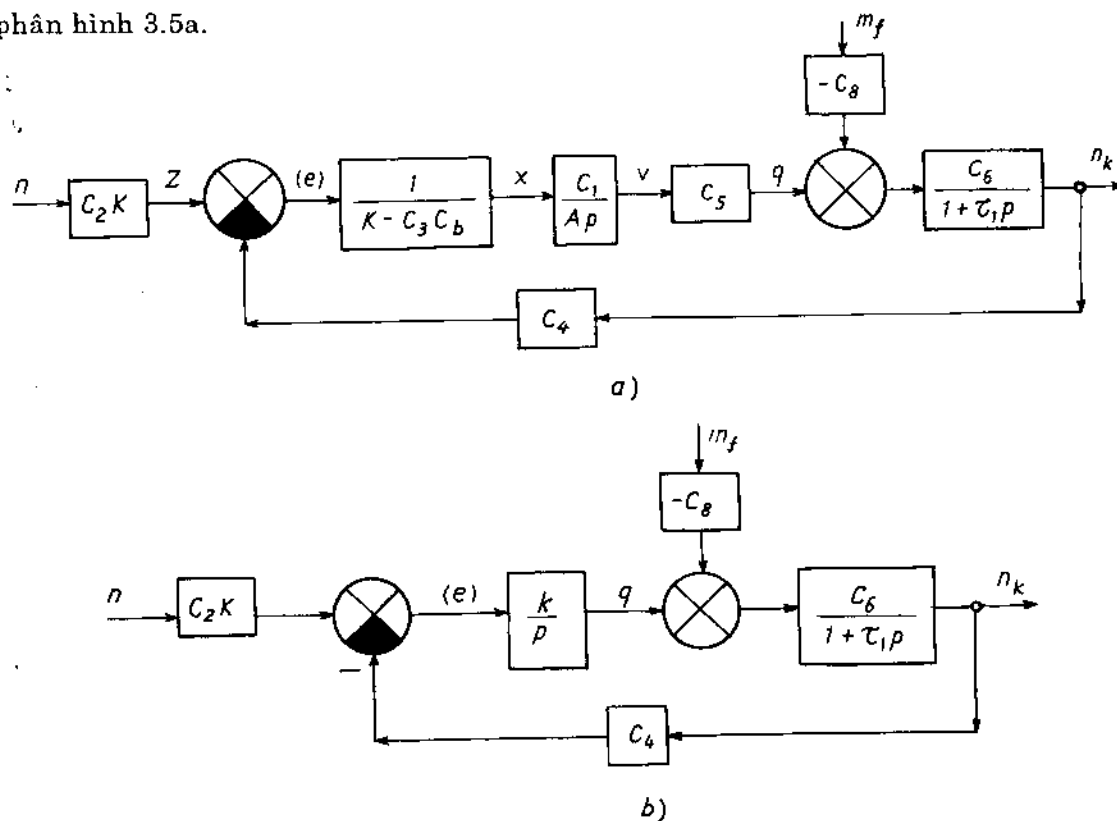
3.3.3. Khâu tích phân



Hình 3.4. Khâu tích phân bằng dầu ép.

Khâu tích phân là khâu động học mà ở trạng thái ổn định lượng ra $r(t)$ tỷ lệ với tích phân của lượng vào: $\frac{1}{p}v = \int v(t)dt$. Khâu này còn có tên là khâu I. Khâu tích phân điển hình nhất là khâu tích phân lý tưởng có $G(p) = \frac{k}{p}$. Phần tử điều khiển điển hình của loại này là bộ tích phân. Nếu như khâu nguyên hàm điều chỉnh số vòng quay ở hình 2.18 bỏ đi hệ thống đòn bẩy, ta có thể biến thành khâu tích phân theo sơ đồ hình 3.4a.

Với khâu tích phân trên, khâu tỷ lệ tích phân có phản hồi âm được thể hiện ở hình 2.15c cần thay bằng khâu tích phân thể hiện ở hình (2.15b) với giá trị $v = e$. Trên cơ sở đó, ta có sơ đồ khối của hệ thống điều chỉnh số vòng quay với khâu tích phân hình 3.5a.



Hình 3.5. Sơ đồ khối của hệ thống tích phân điều chỉnh số vòng quay.

Nếu đơn giản các hàm truyền đạt của các khối nối tiếp giữa tín hiệu e và q thì ta có:

$$G_1(p) = \frac{C_1 C_5}{(K - C_3 C_b) A p} = \frac{k}{p} \quad (3.10)$$

Ở đây: $k = \frac{C_1 C_5}{(K - C_3 C_b) A}$ là hệ số của khâu tích phân trong hệ thống.

Với hàm truyền đạt (3.10), ta thể hiện hệ thống điều chỉnh số vòng quay với khâu tích phân trên hình 3.5b.

Ở trạng thái ổn định hàm truyền đạt của khâu tích phân:

$$G_{10} = \left[\frac{C_1 C_6}{(K - C_3 C_6) A p} \right]_{p=0} = \left(\frac{k}{p} \right)_{p=0} = \infty \quad (3.11)$$

Vì $G_{10} = \infty$ nên $v \approx (e)$ cần phải bằng 0 tức là:

$$C_2 K n - C_4 n_k = v = 0.$$

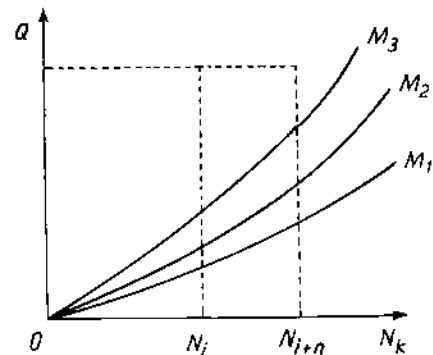
Từ đây ta có: $n_k = \frac{C_2 K}{C_4} n$ (3.12)

Phương trình (3.12) chỉ ra rằng trong hệ thống điều chỉnh số vòng quay có khâu tích phân, số vòng quay không phụ thuộc vào mômen phụ tải. Ta có thể dễ dàng xác định thừa số C_2 của bảng điều chỉnh số vòng quay để cho $\frac{C_2 K}{C_4} = 1$. Trong trường hợp này ta sẽ

có:

$$n_k = n \quad (3.13)$$

Sự làm việc của khâu tích phân có thể biểu thị bằng những đường đặc tính ở hình 3.6.



Hình 3.6. Đường đặc tính của hệ thống điều chỉnh số vòng quay có khâu tích phân.

Từ sơ đồ ở hình 3.4 ta thấy: nếu v thay đổi, sau đó trở về vị trí ban đầu thì trong đó r và cùng với nó là lượng nhiên liệu Q sẽ thay đổi tiếp tục. Vì thế, việc điều chỉnh lượng nhiên liệu tương ứng với một mômen phụ tải mới không làm thay đổi trị số v ở trạng thái ổn định. Vì trị số v , cả trị số lực nén lò xo không thay đổi, do đó lượng ra là số vòng quay luôn luôn cần phải bằng với giá trị chủ đạo đã được điều chỉnh để cho các con lắc quay cân bằng lực lò xo. (Cần lưu ý rằng ở hệ thống điều chỉnh số vòng quay với khâu tỷ lệ, trị số v luôn luôn thay đổi khi thay đổi lượng nhiên liệu).

Ta có thể dễ dàng nhận ra khâu tích phân vì trong phương trình vi phân có ký hiệu đặc trưng cho khâu tích phân $\frac{1}{p}$ nằm giữa cơ cấu so và vị trí vào của tín hiệu nhiễu.

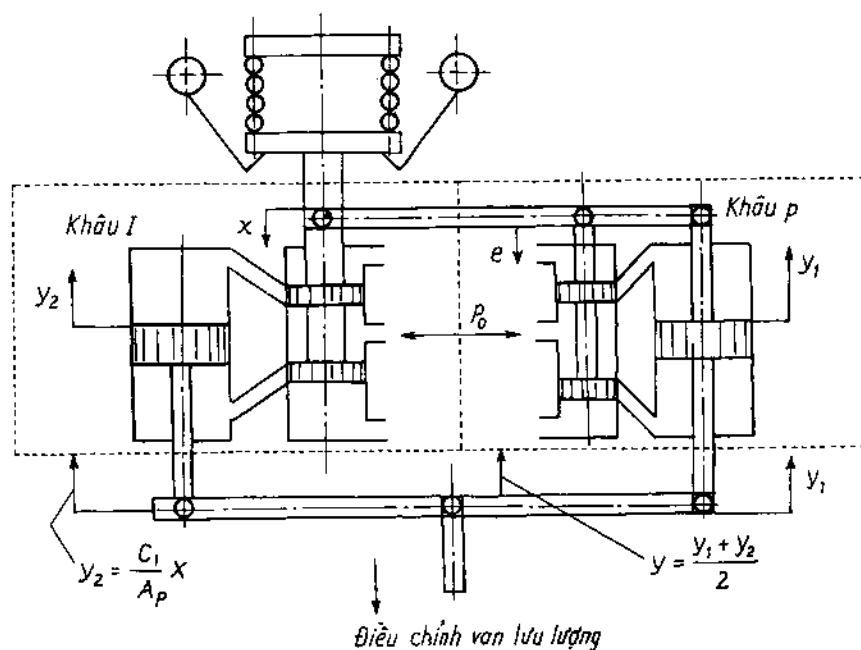
Hệ thống điều khiển có khâu tích phân không xảy ra việc giảm số vòng quay, vì

thể đường đặc tính của khâu này là đường thẳng đứng, hình 3.6.

3.3.4. Khâu hỗn hợp P - I

Ở trạng thái ổn định thì khâu tích phân I có ưu điểm hơn khâu nguyên hàm P. Còn ở hệ thống có khâu nguyên hàm thì dễ đạt được các đặc tính chuyển tiếp hơn là các khâu tích phân. Vì thế, người ta thường dùng một hệ thống hỗn hợp P-I để tổng hợp những đặc điểm của chúng.

Hình 3.7 trình bày sơ đồ khâu hỗn hợp P-I bằng dầu ép.



Hình 3.7. Sơ đồ khâu hỗn hợp P - I.

Khi thay đổi lượng vào hoặc khi có nhiễu bên ngoài tác dụng, thì lúc đầu sự làm việc của khâu P-I giống với khâu nguyên hàm P, nhưng khi hệ thống đã đạt đến trạng thái ổn định thì nó lại giống với khâu tích phân I. Khâu hỗn hợp P-I đã bao gồm trong nó đặc tính chuyển tiếp tốt của khâu nguyên hàm và đặc tính không có sai số điều khiển ở trạng thái ổn định của khâu tích phân.

Khâu nguyên hàm P có phương trình đặc tính mà ta đã biết trên cơ sở công thức (2.60) là:

$$Y_1 = \frac{1}{1 + \tau p} x \quad (3.14)$$

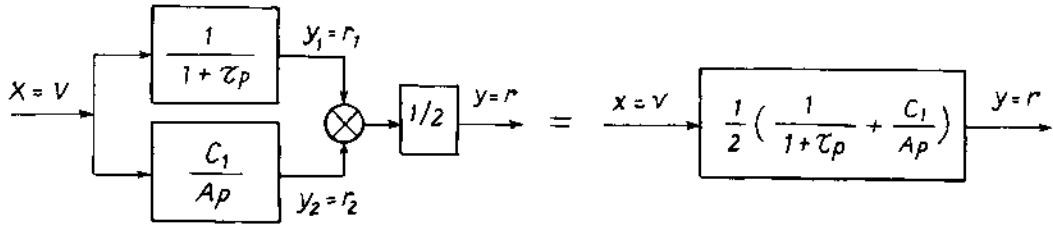
Khâu tích phân I mà ta đã biết ở hình 3.4 có:

$$Y_2 = \frac{C_1}{A_p} x \quad (3.15)$$

Hệ thống đòn bẩy cần tổng hợp tác động của hai khâu để đạt được:

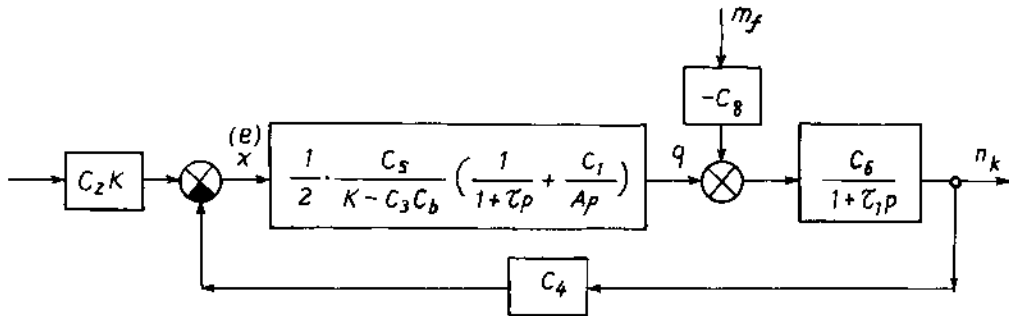
$$y = r = \frac{r_1 + r_2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1 + \tau_p} + \frac{C_1}{A_p} \right) x \quad (3.16)$$

Sơ đồ khối mô tả phương trình (3.16) được trình bày ở hình 3.8.



Hình 3.8. Sơ đồ khối của khâu P - I.

Sơ đồ khối rút gọn hình 3.8b được lắp vào vị trí tương ứng giữa tín hiệu v và r trên sơ đồ khối hình 3.5a, sau đó rút gọn, ta sẽ được sơ đồ khối của toàn bộ hệ thống điều chỉnh số vòng quay dùng khâu tổ hợp P - I (hình 3.9):



Hình 3.9. Sơ đồ khối hệ thống điều chỉnh số vòng quay với khâu P-I.

Hàm truyền đạt của khâu P - I ở trạng thái ổn định:

$$G_{10} = \frac{C_5}{2(K - C_3C_b)} \left(\frac{1}{1 + \tau_p} + \frac{C}{A_p} \right)_{p=0} = \infty \quad (3.17)$$

Vì $G_{10} = \infty$ ở trạng thái ổn định, nên v cần phải bằng 0. Từ hình 3.9 ta có:

$$C_2Kn - C_2n_k = v = 0$$

$$\text{nên: } n_k = \frac{C_2K}{C_4} n \quad (3.18)$$

Từ phương trình (3.12) và (3.18) ta thấy: ở trạng thái ổn định sự làm việc của khâu P - I giống với khâu tích phân. Giả sử như từ hình 3.7, ta điều chỉnh số vòng quay lớn hơn. Trên cơ sở đó, v cùng với nó là e di động xuống phía dưới. Vì hằng số thời gian τ của khâu nguyên hàm bé, nên r_1 thay đổi nhanh, đưa lượng nhiên liệu lớn vào động cơ. Trị số r_1 tăng sẽ đưa e trở về vị trí ban đầu.

Trị số $\frac{C_1}{A}$ của khâu tích phân nhỏ, do đó r_2 tiếp tục thay đổi chậm để làm chức năng hiệu chỉnh. Với số vòng quay tăng lên, v sẽ di động lên. Khâu tích phân sẽ luôn luôn thực hiện chức năng hiệu chỉnh, cho đến khi nào v chưa trở về vị trí ban đầu, tức là $v = 0$.

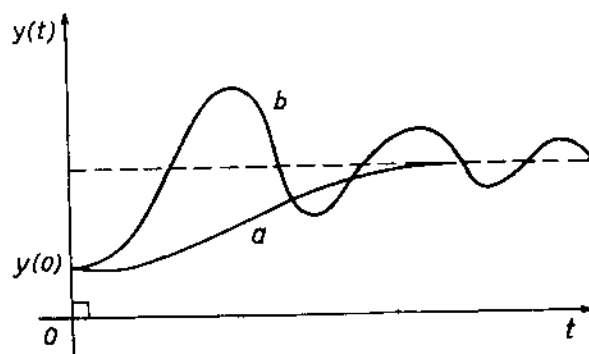
Tóm lại: khâu hỗn hợp P - I ở thời điểm đầu thực hiện chức năng của khâu nguyên hàm và ở thời điểm cuối thực hiện chức năng của khâu tích phân.

3.4. PHẢN ỨNG CỦA KHÂU ĐỘNG HỌC

Phản ứng của một khâu động học (hoặc của một hệ thống) là sự biến đổi tín hiệu của khâu đó giữa thời điểm đầu và thời điểm cuối khi tín hiệu vào $v(t)$ tác động vào khâu đó. Phản ứng của khâu sẽ thay đổi khi có các tín hiệu vào khác nhau hoặc cấu trúc và tham số của khâu thay đổi.

Khi tín hiệu vào là một hàm xác định, thì phản ứng của khâu cũng chính là đặc tính chuyển tiếp (đặc tính quá độ, đặc tính thời gian) của khâu đó. Đối với các tín hiệu vào khác nhau, ta có các đặc tính chuyển tiếp (hay còn gọi là hàm quá độ), hình 3.10.

Ở thời điểm $t = 0$ bất kỳ nào đó, đặc trưng tín hiệu ra là $r(t)$. Đường cong (a) là hàm chuyển tiếp của một khâu động học mà tín hiệu ra của nó tiến dần đến giá trị mới. Đường (b) là đặc trưng cho hệ thống có tín hiệu ra là dao động tắt dần, sau một thời gian mới đạt được trạng thái ổn định mới.



Hình 3.10. Hàm chuyển tiếp của khâu động học bất kỳ.

Để có thể nghiên cứu phản ứng của khâu động học, ta cần đề cập đến tín hiệu tác động vào một khâu, tức là tín hiệu vào.

3.4.1. Tín hiệu vào (tác động)

Các tín hiệu tác động vào một khâu (hoặc một hệ thống) thường có thể phân thành hai loại: tín hiệu định trước (tiền định) và tín hiệu ngẫu nhiên. Ở đây ta chỉ xét đến tín hiệu định trước.

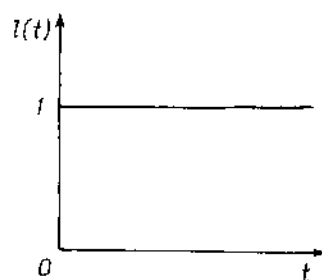
Bất kỳ một tín hiệu phức tạp nào cũng có thể phân tích thành những tín hiệu đơn giản. Sau đây là những tín hiệu đơn giản điển hình thường dùng làm tín hiệu tác động (vào) trong các hệ thống điều khiển tự động.

1) Tín hiệu bậc thang đơn vị:

Hàm đặc trưng cho tín hiệu bậc thang đơn vị được ký hiệu bằng $l(t)$, và nó có giá trị bằng:

$$l(t) = \begin{cases} 0 & \text{khi } t \leq 0 \\ 1 & \text{khi } t > 0 \end{cases} \quad (3.19)$$

Hình 3.11 mô tả hàm bậc thang đơn vị. Với ý nghĩa vật lý nó có thể là lực, điện áp, lượng di động v.v....



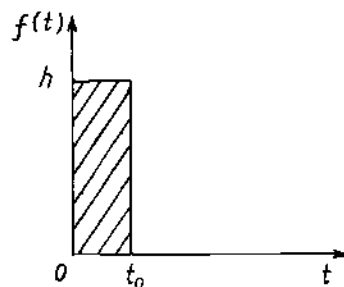
Hình 3.11. Hàm tín hiệu bậc thang đơn vị.

2) Tín hiệu xung đơn vị:

Hàm tín hiệu xung đơn vị là trường hợp đặc biệt của hàm xung $f(t)$ hình 3.12:

$$f(t) = \begin{cases} h & \text{khi } 0 < t < t_0 \\ 0 & \text{khi } t > t_0 \end{cases} \quad (3.20)$$

Nếu ta lấy diện tích ht_0 bằng 1 đơn vị, thì $h = \frac{1}{t_0}$. Nếu $t_0 \rightarrow 0$, thì chiều cao $h \rightarrow \infty$ nhưng diện tích vẫn bằng 1. Trường hợp giới hạn này của hàm xung ta gọi là hàm xung Dirac, có ký hiệu là $\delta(t)$. Ta có:



Hình 3.12. Hàm tín hiệu xung.

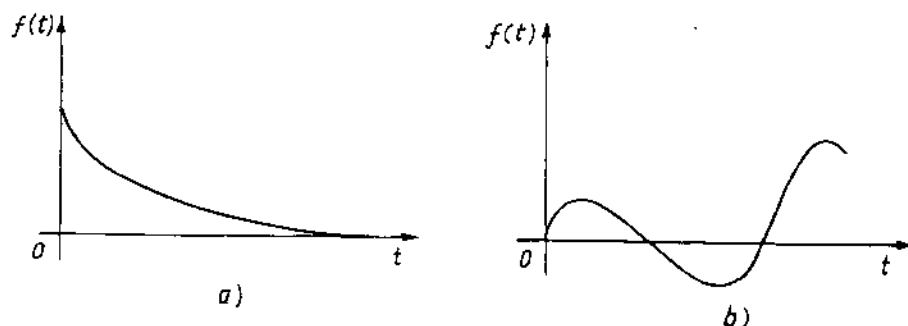
$$\delta(t) = \frac{d}{dt} l(t) = \begin{cases} 0 & \text{khi } t \neq 0 \\ \infty & \text{khi } t = 0 \end{cases} \quad (3.21)$$

Như thế, về mặt toán học, hàm xung Dirac là đạo hàm của hàm bậc thang đơn vị.

3) Tín hiệu điều hòa:

Tín hiệu điều hòa được đặc trưng bởi các hàm như: hàm mũ tắt dần $f(t) = e^{-\alpha t}$,

hàm lượng giác $f(t) = \sin \omega t$ (hình 3.13).



Hình 3.13. Hàm mũ tắt dần (a) và hàm lượng giác (b).

3.4.2. Phản ứng của khâu

Dưới tác động của tín hiệu vào, quá trình gì xảy ra trong khâu động học để hình thành tín hiệu ra, đó là những vấn đề về phản ứng của khâu động học. Thí dụ, ta vận nút điều chỉnh của một hệ thống với giá trị cao hoặc thấp hơn trị số đã định (tức là tác động vào hệ thống một tín hiệu vào) ta sẽ thấy tín hiệu ra hình thành trên một bộ phận ghi: từ giá trị ban đầu chuyển sang một giá trị mới và cuối cùng dừng lại ở trạng thái ổn định. Trạng thái xảy ra giữa trị số ổn định ban đầu và trị số ổn định cuối cùng là trạng thái chuyển tiếp (trạng thái quá độ), và trị số đặc trưng cho các giá trị ở quá trình chuyển tiếp được thay đổi theo hàm chuyển tiếp.

Như thế hàm chuyển tiếp là đặc trưng cho phản ứng của khâu động học dưới tác động của tín hiệu vào, nó là tín hiệu ra dưới tác động của tín hiệu vào.

Như ta đã biết, các phần tử điều khiển có rất nhiều dạng khác nhau, nhưng những tín hiệu ra đặc trưng cho phản ứng của nó chỉ có thể phân thành vài loại. Những phản ứng điển hình này được thể hiện trong dạng hàm chuyển tiếp. Hàm chuyển tiếp của một phần tử bất kỳ nào cũng là sự tổ hợp của các dạng cơ bản này.

Phản ứng của khâu động học có thể đặc trưng bằng các hàm sau đây:

1) Hàm chuyển tiếp (quá độ)

Hàm chuyển tiếp là phản ứng của khâu, khi tín hiệu tác động (vào) là hàm bậc thang đơn vị $l(t)$. Ký hiệu hàm chuyển tiếp là $h(t)$.

Nếu tín hiệu vào $v(t) = l(t)$, và biến đổi $l(t) \rightarrow \frac{1}{p}$ thì biến đổi hàm chuyển tiếp $h(t) \rightarrow H(p)$.

$$H(p) = R(p) = \frac{1}{p} G(p) \quad (3.22)$$

Do đó, muốn được hàm chuyển tiếp $h(t)$, phải biến đổi ngược $\left[\frac{G(p)}{p} \right]$.

2) Hàm trọng lượng

Hàm trọng lượng là phản ứng của khâu, khi tín hiệu tác động là hàm xung Dirac $\delta(t)$. Ký hiệu hàm trọng lượng là $w(t)$.

Nếu tín hiệu vào là $v(t) = \delta(t)$, và biến đổi của $\delta(t) \rightarrow 1$, thì biến đổi của hàm trọng lượng:

$$w(t) \rightarrow W(p) = R(p) = \frac{1}{p} G(p) \quad (3.23)$$

So sánh 2 đẳng thức (3.22) và (3.23), ta thấy:

$$\frac{H(p)}{W(p)} = \frac{1}{p} \quad (3.24)$$

tức là:
$$H(p) = \frac{1}{p} W(p)$$

Dùng biến đổi ngược ta sẽ có mối quan hệ giữa hàm chuyển tiếp và hàm trọng lượng:

$$h(t) = \int_0^t w(t) dt$$

hoặc
$$w(t) = \frac{d}{dt} h(t)$$

3) Hàm tần số

Hàm tần số là phản ứng của khâu, khi tín hiệu tác động là hàm điều hòa $v(t) = v_0 \sin \omega t$.

Hàm tần số (tín hiệu ra) cũng là hình sin, có tần số góc bằng với tần số góc của tín hiệu vào, có biên độ khác với biên độ của tín hiệu và thông thường lệch pha với tín hiệu vào với một góc ϕ . Do đó, hàm tần số có dạng như sau:

$$r = r_0 \sin (\omega t + \phi) \quad (3.25)$$

Góc pha ϕ và tỷ lệ của biên độ $\frac{r_0}{v_0}$ đều là hàm của tần số góc ω . Đây là hai đại lượng quan trọng tạo nên cơ sở của phương pháp tần số mà ta sẽ đề cập đến ở những chương sau.

Chương 4

BIẾN ĐỔI LAPLACE

Để xác định các đặc điểm của quá trình chuyển tiếp, ta cần phải giải các phương trình vi phân đặc trưng cho hoạt động của các khâu động học (hoặc của hệ thống). Nếu biết được giá trị của tín hiệu vào, ta có thể xác định được tín hiệu ra bằng phương pháp cổ điển như ta đã biết. Nhưng việc giải các phương trình vi phân sẽ được đơn giản và nhanh chóng, nếu ta dùng phương pháp biến đổi Laplace. Với việc sử dụng biến đổi Laplace, ta chẳng những có thể biến đổi các phép tính như lấy đạo hàm, lấy tích phân theo thời gian mà ta còn có thể biến đổi các hàm thời gian của tín hiệu vào.

4.1. CƠ SỞ CỦA BIẾN ĐỔI LAPLACE

Điều kiện để có thể biến đổi một hàm thời gian là: một hàm $f(t)$ thực nào đó, có biến đổi Laplace, nếu như trong miền $t \geq 0$ của biến số thực t hàm số có nghĩa, đơn trị, và nếu như có một số thực thì:

$$\int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt < \infty \quad (4.1)$$

Với điều kiện (4.1), các hàm thời gian đặc trưng cho sự làm việc của các hệ thống điều khiển đều có thể biến đổi, vì đó là những hàm thực thông thường là liên tục, cho nên đơn trị. Điều kiện để hệ thống làm việc được thỏa mãn là tích của hàm này với e^{-st} sẽ dẫn đến 0, nếu $t \rightarrow \infty$ và do đó, lấy tích phân theo thời gian sẽ hữu hạn.

Biến đổi Laplace (\mathcal{L}) của hàm thời gian $f(t)$ được xác định như sau:

$$F(s) = \mathcal{L}[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (4.2)$$

Ở đây: \mathcal{L} - ký hiệu của biến đổi Laplace, đọc là “biến đổi Laplace của...”.

$\mathcal{L}[f(t)]$ là biến đổi Laplace của hàm $f(t)$.

s - toán tử Laplace, là biến số phức, có phần trị số thực lớn hơn σ .

Thông thường ta chỉ nghiên cứu hệ thống điều khiển sau một thời điểm đã được lựa chọn bất kỳ là $t = 0$. Ta chỉ có thể xác định trạng thái làm việc của hệ

thống ở thời điểm $t > 0$ nếu như ta biết được các điều kiện ban đầu ở thời điểm $t = 0$ và hàm tác động ở $t = 0$. Do đó, các giới hạn tích phân ở phương trình (4.2) chỉ lấy thời gian $+$, tức là giới hạn dưới của tích phân tương ứng với $t = +0$ (thời điểm liên sau điểm 0).

Vì biểu thức $f(t)e^{-st}$ được tạo nên với hàm thời gian đặc trưng cho sự làm việc của hệ thống điều khiển trong nhiều trường hợp có thể lấy tích phân một cách trực tiếp, nên biến đổi Laplace tương ứng với nó dễ dàng xác định. Nếu tất cả các hàm thời gian được biến đổi thành hàm s , thì ta có thể biến đổi ngược hàm từ miền s sang miền thời gian. Biến đổi ngược Laplace (\mathcal{L}^{-1}) của hàm $F(s)$ được xác định như sau:

$$f(t) = \mathcal{L}^{-1}[F(s)] = \frac{1}{2\pi j} \int_C F(s)e^{st} ds, \quad t \geq 0 \quad (4.3)$$

Ở đây, C là đường cong kín được lựa chọn trong miền S . Hàm $f(t)$ chỉ được xác định trên một số giá trị của t . Giới hạn tích phân của phương trình (4.2) từ $0 \rightarrow \infty$ sẽ giới hạn miền xác định. Nếu ta lấy thời điểm ban đầu là $t = 0$, thì giới hạn trên không dẫn đến khó khăn trong việc giải các bài toán của phần lớn các hệ thống điều khiển.

Biểu thức (4.3) trên thực tế sẽ cho hàm nguyên thủy $f(t)$, vì biến đổi Laplace là phép toán đơn vị. Điều này có nghĩa là hàm thời gian $f(t)$ chỉ có một biến đổi Laplace $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$ và ngược lại: nếu hàm thời gian $f(t)$ là biến đổi ngược của hàm $F(s)$, thì $f(t)$ là hàm ngược duy nhất và tất cả các hàm $\mathcal{L}^{-1}[F(s)]$ khác đều bằng $f(t)$ trong hầu hết các miền $t \geq 0$.

Trên thực tế, việc xác định $F(s)$ và $f(t) = \mathcal{L}^{-1}[F(s)]$ đều dùng bảng mà sau đây ta sẽ đề cập đến.

4.2. CÁC BIẾN ĐỔI CƠ BẢN

Một trong những ưu điểm của biến đổi Laplace là các hàm thời gian, và như thế là các hàm tín hiệu vào, có thể thể hiện trong dạng biến đổi. Sau đây, ta sẽ đề cập đến cách xác định các dạng biến đổi sang miền s của các hàm thời gian và các phép tính thường dùng để nghiên cứu trạng thái của các hệ thống điều khiển.

4.2.1. Hàm bậc thang

Với tất cả các giá trị thời gian dương, hàm bậc thang có giá trị không đổi là A . Ta sử dụng biểu thức (4.2) với $f(t) = A$ và $t > 0$, ta có:

$$F(s) = \mathcal{L}[A] = \int_0^{\infty} Ae^{-st} dt$$

Ta lấy tích phân và thay các giới hạn tích phân:

$$\mathcal{L}[A] = -\frac{Ae^{-st}}{s} \Big|_0^{\infty} = \frac{A(-e^{-s(\infty)} + e^{-s(0)})}{s} = \frac{A}{s} \quad (4.4)$$

Nếu hàm bậc thang đơn vị theo công thức (3.17) thì:

$$F(s) = \mathcal{L}[l(t)] = \int_0^{\infty} le^{-st} dt = -\frac{le^{-st}}{s} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{s} \quad (4.5)$$

Từ công thức (4.4) và (4.5) ta thấy rằng: nếu như không kể đến hằng số A, thì biến đổi Laplace của một hằng hoặc của một hàm bậc thang đơn vị đều là một hàm giống nhau của s. Chúng giống nhau vì trong miền từ $+0 \rightarrow \infty$, cả hai hàm thời gian đều giống nhau, có giá trị không đổi, vì thế biến đổi Laplace của chúng cũng cần phải giống nhau.

Khi xác định các giá trị bằng số của hàm biến đổi, s được coi như một hằng mà với nó F(s) sẽ hội tụ. Như ta thấy ở công thức (4.4), với bất kỳ $s > 0$, thì $e^{-s\infty} = 0$ và $e^{-s0} = e^{-s(0)} = 1$, nên hàm F(s) được hội tụ. Nếu như s là giá trị âm, tức là $e^{-s\infty} = e^x = \infty$ thì F(s) sẽ phân kỳ.

4.2.2. Hàm xung

Với hàm xung được biểu hiện ở biểu thức (3.18), ta có:

$$F(s) = \mathcal{L}[h] = \int_0^{t_0} he^{-st} dt = -\frac{he^{-st}}{s} \Big|_0^{t_0} = \frac{h}{s} (1 - e^{-st_0}) \quad (4.6)$$

Ở hàm xung đơn vị, tức là $ht_0 = 1$, hay $h = \frac{1}{t_0}$. Trị số $h \rightarrow \infty$ khi $t_0 \rightarrow 0$. Nếu ta thay trị số h vào công thức (4.6) và lấy giới hạn $t_0 \rightarrow 0$, ta có:

$$F(s) = \mathcal{L}[\delta(t)] = \lim_{t_0 \rightarrow 0} \left[\frac{1}{st_0} (1 - e^{-st_0}) \right] = \frac{0}{0}$$

Dùng qui tắc L'hospital để giải hàm không xác định trên:

$$F(s) = \lim_{t_0 \rightarrow 0} \frac{d(1 - e^{-st_0})/dt_0}{d(st_0)/dt_0} = \lim_{t_0 \rightarrow 0} \frac{se^{-st_0}}{s} = 1 \quad (4.7)$$

4.2.3. Hàm mũ tắt dần

Hàm mũ tắt dần $f(t) = e^{-\alpha t}$ có thể biến đổi nếu $-\alpha$ là số âm.

Trên cơ sở biểu thức (4.2) ta có:

$$F(s) = \mathcal{L}(e^{-\alpha t}) = \int_0^{\infty} e^{-\alpha t} e^{-st} dt = -\frac{e^{-(s+\alpha)t}}{s+\alpha} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{s+\alpha} \quad (4.8)$$

Do đó, biến đổi Laplace của hàm mũ là một hàm phân số hữu tỷ của s .

4.2.4. Hàm lượng giác

Để biến đổi hàm lượng giác $\sin \omega t$ hay $\cos \omega t$ ta dùng công thức Euler:

$$\begin{cases} e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t \\ e^{-j\omega t} = \cos \omega t - j \sin \omega t \end{cases} \quad (4.9)$$

Từ hai công thức trong (4.9) ta có thể sắp xếp lại để có dạng hàm mũ:

$$\cos \omega t = \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2} \quad (4.10)$$

$$\sin \omega t = \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j} \quad (4.11)$$

a) Theo công thức (4.2) ta có:

$$\begin{aligned} F(s) = \mathcal{L}(\sin \omega t) &= \int_0^{\infty} \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j} e^{-st} dt \\ &= \int_0^{\infty} \frac{e^{-(s-j\omega)t} - e^{-(s+j\omega)t}}{2j} dt \\ F(s) &= \frac{1}{2j} \left[-\frac{e^{-(s-j\omega)t}}{s-j\omega} + \frac{e^{-(s+j\omega)t}}{s+j\omega} \right]_0^{\infty} = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \end{aligned} \quad (4.12)$$

b) Tương tự như thế ta có thể xác định biến đổi Laplace của hàm $\cos \omega t$:

$$\begin{aligned} F(s) = \mathcal{L}(\cos \omega t) &= \int_0^{\infty} \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2} e^{-st} dt \\ F(s) &= \frac{1}{2} \left[-\frac{e^{-(s-j\omega)t}}{s-j\omega} - \frac{e^{-(s+j\omega)t}}{s+j\omega} \right]_0^{\infty} = \frac{s}{s^2 + \omega^2} \end{aligned} \quad (4.13)$$

c) Đối với hàm sin giảm dần $f(t) = e^{-\alpha t} \sin \omega t$, ta có:

$$F(s) = \mathcal{L}[e^{-\alpha t} \sin \omega t] = \int_0^{\infty} e^{-st} \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j} e^{-\alpha t} dt$$

$$F(s) = \int_0^{\infty} \frac{e^{-(s+\alpha-j\omega)t} - e^{-(s+\alpha+j\omega)t}}{2j} dt = \frac{\omega}{(s+\alpha)^2 + \omega^2} \quad (4.14)$$

Tương tự như thế ta có:

$$F(s) = \mathcal{L}[e^{-\alpha t} \cos \omega t] = \frac{s+\alpha}{(s+\alpha)^2 + \omega^2} \quad (4.15)$$

4.2.5. Hàm tỷ lệ với thời gian

$$F(s) = \mathcal{L}[t] = \int_0^{\infty} t e^{-st} dt \quad (4.16)$$

Trường hợp này ta phải lấy tích phân từng phần:

$$\int u dv = uv - \int v du$$

Trường hợp của ta $u = t$; $v = \frac{e^{-st}}{-s}$. Do đó thay vào (4.16) ta có:

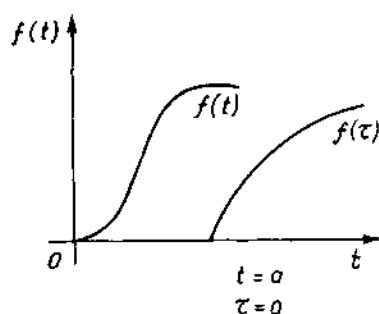
$$F(s) = \int_0^{\infty} t e^{-st} dt = -\frac{t e^{-st}}{s} \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} \frac{e^{-st}}{s} dt = 0 + \frac{1}{s^2}$$

$$\mathcal{L}[t] = \frac{1}{s^2} \quad (4.17)$$

4.2.6. Hàm chuyển dịch (hàm trễ)

Hình 4.1 trình bày một hàm chuyển dịch $f(t-a)$, đặc trưng cho một hiện tượng vật lý có đường biểu diễn giống với hàm $f(t)$, nhưng bị dịch chuyển a đơn vị theo thời gian. Cần chú ý ở miền $0 < t < a$ thì $f(t-a) = 0$.

Trong trường hợp này, biến đổi Laplace bắt đầu từ thời điểm $t = a$ thay cho $t = 0$. Cần chú ý rằng $t = a + \tau$ nên $dt = d\tau$, và giới hạn dưới của tích phân là $t = a$, tương ứng với $\tau = 0$. Do đó:



Hình 4.1. Hàm chuyển dịch.

$$F(s) = \mathcal{L}[f(\tau)] = \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-st} dt = \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-s(a+\tau)} d\tau = e^{-sa} \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-s\tau} d\tau \quad (4.18)$$

Ta biết rằng: $\int_0^{\infty} f(\tau) e^{-s\tau} d\tau = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt = F(s)$

Do đó, thay kết quả này vào phương trình (4.18) ta được:

$$\mathcal{L}[f(\tau)] = e^{-sa} F(s) \quad (4.19)$$

4.2.7. Biến đổi của đạo hàm

Trong tất cả các phương trình vi phân tuyến tính đều có các đạo hàm với những bậc khác nhau. Biểu thức tổng quát của biến đổi đạo hàm được thể hiện như sau:

Giả sử cho $u = f(t)$ và $v = \frac{e^{-st}}{-s}$, thì $du = \frac{d}{dt}[f(t)]dt$ và $dv = e^{-st}dt$ với tích phân

từng phần:

$\int u dv = uv - \int v du$, thay thế các giá trị u và v vào ta có:

$$\int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt = -f(t) \frac{e^{-st}}{s} \Big|_0^{\infty} + \frac{1}{s} \int_0^{\infty} \frac{d}{dt} f(t) e^{-st} dt \quad (4.20)$$

Đặt phần bên trái của biểu thức (4.20) là $F(s)$. Sau khi giải vế phải của phương trình này ta được:

$$F(s) = \frac{f(0)}{s} + \frac{1}{s} \int_0^{\infty} \frac{d[f(t)]}{dt} e^{-st} dt = \frac{f(0)}{s} + \frac{1}{s} \mathcal{L} \left[\frac{df(t)}{dt} \right]; \quad (4.21)$$

Ở đây: $f(0)$ là giá trị của $f(t)$ khi $t = 0$. Do đó, từ biểu thức (4.21), ta có thể viết:

$$\mathcal{L} \left[\frac{df(t)}{dt} \right] = \mathcal{L}[f'(t)] = sF(s) - f(0) \quad (4.22)$$

Từ phương trình (4.20), ta có thể suy ra cách biến đổi các đạo hàm có bậc cao hơn:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{L}[f'(t)] &= s^2 F(s) - sf(0) - f'(0) \\ \mathcal{L}[f''(t)] &= s^3 F(s) - s^2 f(0) - sf'(0) - f''(0) \\ &\vdots \\ \mathcal{L}[f^{(n)}(t)] &= s^{n+1} F(s) - s^n f(0) - \dots - f^{(n-1)}(0) \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

4.2.8. Biến đổi của tích phân

Biến đổi Laplace của tích phân cũng được chứng minh tương tự như biến đổi của đạo hàm.

Ta cho $u = e^{-st}$ và $dv = f(t)dt$, lấy tích phân từng phần:

$$\int u dv = uv - \int v du$$

Thay các trị số của u và v vào phương trình trên ta được:

$$\int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = e^{-st} \int_0^{\infty} f(t) dt \Big|_0^{\infty} + s \int_0^{\infty} [f(t)dt] e^{-st} dt \quad (4.24)$$

$$\int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = -f^{(-1)}(0) + \int_0^{\infty} [f(t)dt] e^{-st} dt \quad (4.25)$$

Phương trình (4.25) có thể viết dưới dạng sau đây:

$$\mathcal{L} \left[\int f(t)dt \right] = \frac{F(s)}{s} + \frac{f^{(-1)}(0)}{s} \quad (4.26)$$

Ở đây: $f^{(-1)}(t) = \int f(t)dt$

$$f^{(-1)}(0) = \int f(t)dt \Big|_{t=0} - \text{hằng số tích phân.}$$

Với phương pháp trên, ta có thể chứng minh cho những tích phân có bậc cao hơn:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} \left[f^{(-2)}(t) \right] &= \frac{F(s)}{s^2} + \frac{f^{(-1)}(0)}{s^2} + \frac{f^{(-2)}(0)}{s} \\ \mathcal{L} \left[f^{(-n)}(t) \right] &= \frac{F(s)}{s^n} + \frac{f^{(-1)}(0)}{s^n} + \frac{f^{(-2)}(0)}{s^{n-1}} + \dots + \frac{f^{(-n)}(0)}{s} \end{aligned} \quad (4.27)$$

Ở đây: $f^{(-2)}(0) = \int \int f(t)dt^2 \Big|_{t=0}$ - là trị số tích phân hai lần của hàm $f(t)$.

$$f^{(-n)}(t) = \int \dots \int f(t)dt^n$$

4.2.9. Định lý tuyến tính hóa

Tổng của các hàm thời gian trên cơ sở phương trình được tuyến tính hóa có thể biến đổi thành tổng các hàm toán tử và ngược lại.

Nếu các hàm có thể biến đổi $f(t)$, $f_1(t)$, $f_2(t)$ và biến đổi Laplace của nó là $F(s)$,

$F_1(s), F_2(s)$; ngoài ra cho a là một hằng, hoặc là biến số độc lập phụ thuộc vào t và s thì:

$$\mathcal{L}[a f(t)] = a F(s) \text{ và } \mathcal{L}[f_1(t) \pm f_2(t)] = F_1(s) \pm F_2(s) \quad (4.28)$$

Nếu các hàm $F(s), F_1(s), F_2(s)$ là biến đổi Laplace của các hàm $f(t), f_1(t), f_2(t)$; ngoài ra a là một hằng hoặc là biến số độc lập phụ thuộc vào t và s thì:

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{L}^{-1}[aF(s)] &= af(t); 0 \leq t \\ \text{và } \mathcal{L}^{-1}[F_1(s) \pm F_2(s)] &= f_1(t) \pm f_2(t); 0 \leq t \end{aligned} \right\} \quad (4.29)$$

Các định lý (4.28) và (4.29) xuất phát từ đặc điểm tuyến tính của phép tích phân tạo nên biến đổi và biến đổi ngược Laplace theo biểu thức (4.2) và (4.3).

4.2.10. Định lý giá trị giới hạn

Định lý giá trị giới hạn xác định mối quan hệ giữa các giá trị của các hàm thời gian và hàm biến đổi khi $t \rightarrow +0$ và $t \rightarrow \infty$.

a) Định lý giá trị cuối

Nếu hàm $f(t)$ và đạo hàm bậc nhất của nó có thể biến đổi $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$, thì:

$$\lim_{s \rightarrow 0} sF(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} f(t) \quad (4.30)$$

Từ công thức (4.30) ta thấy: giá trị giới hạn của hàm $f(t)$ khi $t \rightarrow \infty$ (tức là giá trị ổn định) có thể xác định từ hàm biến đổi s khi $s \rightarrow 0$. Với định lý này ta có thể xác định trạng thái ổn định của $f(t)$ mà không cần biến đổi ngược hàm $F(s)$. Đối với hàm tín hiệu vào hình sin thì định lý này không thể dùng được vì trong trường hợp này các nghiệm của $sF(s)$ có ở trên trục ảo.

b) Định lý giá trị đầu

Nếu hàm $f(t)$ và đạo hàm bậc nhất của nó có thể biến đổi $\mathcal{L}[f(t)] = F(s)$ và $sF(s)$ có giá trị giới hạn, thì:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} sF(s) = \lim_{t \rightarrow 0+} f(t) \quad (4.31)$$

Theo định lý này thì trị số lấy liền ngay sau trị số $t = 0$ của hàm $f(t)$ có thể xác định từ giá trị giới hạn của hàm biến đổi s khi $s \rightarrow \infty$. Với những kết quả trên ta thành lập bảng 4.1 gồm các biến đổi Laplace của một số hàm và các phép tính thường dùng trong kỹ thuật điều khiển.

Bảng 4.1. Các biến đổi Laplace của một số hàm

Số T/T	f(t)	F(s)
1	1(t)	1/s
2	$\delta(t)$	1
3	$e^{-\alpha t}$	1/(s + α)
4	$e^{\alpha t}$	1/(s - α)
5	$\sin \omega t$	$\omega/(s^2 + \omega^2)$
6	$\cos \omega t$	$s/(s^2 + \omega^2)$
7	$e^{-\alpha t} \sin \omega t$	$\omega/((s + \alpha)^2 + \omega^2)$
8	$e^{\alpha t} \cos \omega t$	$(s + \alpha)/((s + \alpha)^2 + \omega^2)$
9	t	1/s ²
10	$\frac{t^n}{n!}$	1/(s _n + 1)
11	$\frac{t^n e^{-\alpha t}}{n!}$	1/((s - α) ⁿ + 1)
12	$\frac{t^{n-1} e^{-\alpha t}}{(n-1)!}$	1 (s + α) ⁿ
13	kf(t)	kF(s)
14	f(t - a)	e ^{-as} F(s)
15	f ₁ (t) ± f ₂ (t)	F ₁ (s) ± F ₂ (s)
16	f'(t)	sF(s) - F(0)
17	f ⁽ⁿ⁾ (t)	s ⁿ F(s) - s ⁿ⁻¹ f(0) - ... - f ⁽ⁿ⁻¹⁾ (0)
18	f ⁽⁻¹⁾ (t)	$\frac{F(s)}{s} + \frac{f^{(-1)}(0)}{s}$
19	f ⁽⁻ⁿ⁾ (t)	$\frac{F(s)}{s^n} + \frac{f^{(-1)}(0)}{s^{n-1}} + \frac{f^{(-2)}(0)}{s^{n-2}} + \dots + \frac{f^{(-n)}(0)}{s}$

4.3. ỨNG DỤNG BIẾN ĐỔI LAPLACE

Biến đổi Laplace dùng để giải nhanh chóng các hệ thống phương trình vi phân. Với biến đổi Laplace, ta dễ dàng xác định hàm truyền đạt, trên cơ sở đó xác định phương trình đặc tính, và cuối cùng giải phương trình vi phân để xác định hàm chuyển tiếp.

Đặc trưng cho một hệ thống điều khiển, ta có phương trình vi phân tổng quát sau đây:

$$(P^n + b_{n-1}p^{n-1} + \dots + b_1p + b_0) y(t) = (a_m p^m + a_{m-1}p^{m-1} + \dots + a_1p + a_0) x(t) \quad (4.32)$$

Nếu hệ số b_n biểu thức pⁿy(t) không bằng 1 đơn vị thì phương trình cần chia cho b_n để có được dạng trên. Từ phương trình (4.32) ta có thể biểu diễn dưới dạng toán tử p theo hàm thời gian là:

$$y(t) = \frac{a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_1 p + a_0}{p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p + b_0} x(t) = \frac{L_m(p)}{L_n(p)} x(t) \quad (4.33)$$

Ở đây: $a_0; a_1; \dots a_m$ và $b_0; b_1; \dots b_n \dots$ là những hằng số.

$x(t)$ - hàm kích thích. Nó là tín hiệu tác động vào làm kích thích hệ thống.

$y(t)$ - hàm phản ứng. Nó là hàm chuyển tiếp (tín hiệu ra) dưới tác động của tín hiệu vào $x(t)$.

$$L_n(p) = p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots b_1 p + b_0.$$

$$L_m(p) = a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots a_1 p + a_0.$$

Biến đổi Laplace từng số hạng của phương trình (4.32):

$$\mathcal{L}[p^n y(t)] = s^n Y(s) \cdot I(s)_n$$

$$b_{n-1} \mathcal{L}[p^{n-1} y(t)] = b_{n-1} s^{n-1} Y(s) \cdot I(s)_{n-1}$$

.....

$$a_m \mathcal{L}[p^m x(t)] = a_m s^m X(s) \cdot I(s)_m$$

$$a_{m-1} \mathcal{L}[p^{m-1} x(t)] = a_{m-1} s^{m-1} X(s) \cdot I(s)_{m-1}.$$

Ở đây: $I(s)_n, I(s)_{n-1} \dots$ là những điều kiện ban đầu tương ứng với các biến đổi. Thay các số hạng được biến đổi vào phương trình (4.32) và sắp xếp lại, ta có:

$$Y(s) = \frac{(a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0) X(s) + I(s)}{s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0} = \frac{L_m(s) X(s) + I(s)}{L_n(s)} \quad (4.34)$$

Ở đây: $I(s) = I(s)_n + I(s)_{n-1} + \dots - I(s)_m \dots - I(s)_{m-1} - \dots$

Đây là tổng của những điều kiện ban đầu.

Từ các phương trình (4.33) và (4.34) có thể thấy:

- Các đa thức $L_m(s); L_n(s)$ ở trong miền biến đổi s vẫn giữ nguyên như trong miền toán tử p .

- Tử số của chúng cũng có dạng giống nhau, chỉ khác một điều là ở miền s có các điều kiện ban đầu $I(s)$.

- Nếu các điều kiện ban đầu bằng 0, thì ta có thể biến đổi Laplace của phương trình vi phân bằng cách thay s vào vị trí p , thay $Y(s)$ vào $y(t)$ và $X(s)$ vào vị trí $x(t)$. Trong trường hợp này ta có:

$$Y(s) = \frac{L_m(s)}{L_n(s)} X(s) \quad (4.35)$$

Ở đây: $\frac{L_m(s)}{L_n(s)}$ là hàm truyền đạt.

Hàm truyền đạt là một hàm phân số, thông thường tử số và mẫu số của nó là một đa thức của s . Nó có thể đặc trưng cho những đặc điểm chủ yếu của hệ thống điều khiển mà không cần lưu ý đến các điều kiện ban đầu hoặc hàm kích thích.

Tóm lại mối quan hệ trong hệ thống điều khiển là:

HÀM PHẢN ỨNG = HÀM TRUYỀN ĐẠT \times HÀM KÍCH THÍCH

(ra)

(vào)

Nếu ta cho mẫu số của hàm truyền đạt bằng 0, ta sẽ có phương trình đặc tính:

$$s^n + b_{n-1}s^{n-1} + \dots + b_1s + b_0 = 0 \quad (4.36)$$

Số mũ lớn nhất của phương trình đặc tính, tức là trị số n , xác định bậc của phương trình vi phân. Trên cơ sở của phương trình đặc tính, ta suy ra các đặc tính chuyển tiếp của hệ thống.

Hàm phản ứng (hàm chuyển tiếp) $y(t)$ có thể xác định với việc biến đổi ngược hàm $Y(s)$, tức là:

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} Y(s) = \mathcal{L}^{-1} \left[\frac{I_{n1}(s)X(s) + I(s)}{L_n(s)} \right] \quad (4.37)$$

Ta có thể tìm biến đổi $X(s)$ của tín hiệu $x(t)$ từ bảng, sau đó thay vào biểu thức (4.37) và tiến hành biến đổi ngược bằng hai cách:

- a/ Dùng bảng để xác định các hàm thời gian tương ứng với hàm đã biến đổi.
- b/ Phân tích hàm đã biến đổi thành tổng những hàm đơn giản hơn và sau đó dùng bảng để biến đổi ngược từng số hạng.

Phương pháp đầu đơn giản hơn nhưng hầu hết các bài toán điều khiển có hàm phản ứng $Y(s)$ phức tạp, không thể tìm ở trong bảng. Do đó, phương pháp thứ hai là phương pháp phổ biến mà ta sẽ đề cập sau đây.

4.4. BIẾN ĐỔI NGƯỢC

Biến đổi ngược $\mathcal{L}^{-1}[Y(s)]$ rất ít khi có thể tìm được trực tiếp ở bảng biến đổi Laplace. Thông thường phải phân hàm $F(s)$ thành tổng các phân thức có hệ số không đổi. Các hàm thời gian tương ứng với các phân thức có dạng đơn giản này, có thể tìm được trong bảng. Toàn bộ biểu thức $\mathcal{L}^{-1}[Y(s)]$ là tổng các hàm thời gian tương ứng với phân thức.

Hàm phản ứng thông thường là các hàm phân số hữu tỷ có dạng như ta đã biết ở đẳng thức (4.34):

$$Y(s) = \frac{L_m(s)X(s) + I(s)}{L_n(s)} \quad (4.38)$$

Hàm kích thích $X(s)$ (hay tín hiệu vào) có thể viết dưới dạng sau đây:

$$X(s) = \frac{N_x}{D_x}$$

Thí dụ, trong trường hợp tín hiệu vào là hàm bậc thang 1 đơn vị, thì $X(s) = \frac{1}{s}$ tức là $N_x = 1$ và $D_x = s$. Với ký hiệu trên, ta thay $X(s)$ vào biểu thức (4.38), ta có:

$$Y(s) = \frac{L_m(s)N_x + I(s)D_x}{L_m(s)D(x)} = \frac{A(s)}{B(s)} \quad (4.39)$$

Ở đây: $A(s)$ và $B(s)$ là những đa thức của s .

Cần phải đảm bảo cho số có số mũ lớn nhất ở mẫu số (tức là s^n) có hệ số bằng 1. Thông thường, trong quá trình nghiên cứu trạng thái chuyển tiếp của hệ thống ĐKTD thường có các hàm truyền đạt và hàm kích thích dẫn đến đẳng thức có số mũ lớn nhất ở mẫu số (s^n) lớn hơn hoặc bằng số mũ lớn nhất ở tử số.

Để có thể chia $Y(s)$ thành các phân thức, trước tiên ta phân tích mẫu số $B(s)$. Giả sử các nghiệm của $B(s)$ là r_1, r_2, \dots, r_n . Các nghiệm này có thể là nghiệm đơn giản hoặc nghiệm bội có thể là số thực hay số phức.

Ta lần lượt xét các loại nghiệm trên:

a) Nghiệm đơn:

Mỗi nghiệm sẽ là một thừa số của $B(s)$, nên phương trình (4.39) có thể viết là:

$$Y(s) = \frac{A(s)}{B(s)} = \frac{C_1}{s - r_1} + \frac{C_2}{s - r_2} + \dots + \frac{C_i}{s - r_i} + \dots + \frac{C_n}{s - r_n} \quad (4.40)$$

Ta có thể xác định hằng số C_i nào đó bằng cách nhân cả hai vế của phương trình (4.40) với mẫu số của phân số chứa C_i , tức là nhân với $(s - r_i)$:

$$(s - r_i)Y(s) = C_1 \frac{s - r_1}{s - r_1} + C_2 \frac{s - r_1}{s - r_2} + \dots + C_i + \dots + C_n \frac{s - r_1}{s - r_n} \quad (4.41)$$

Nếu ta lấy giới hạn khi $s \rightarrow r_i$, thì tất cả các thừa số có chứa $(s - r_i)$ ở vế phải của phương trình (4.41) đều bằng 0, từ đó ta xác định được C_i :

$$C_i = \lim_{s \rightarrow r_i} [(s - r_i)Y(s)] \quad (4.42)$$

Với việc biết trị số C_i , ta có thể dễ dàng tìm biến đổi ngược trong bảng:

$$\mathcal{L}^{-1} \left[\frac{C_i}{s - r_i} \right] = C_i e^{r_i t}; \quad 0 \leq t \quad (4.43)$$

Toàn bộ hàm thời gian sẽ là tổng các hàm thời gian tương ứng với các phân thức được xác định như trên:

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}[Y(s)] = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} + \dots + C_l e^{r_l t} + C_n e^{r_n t} \quad (4.44)$$

Từ công thức (4.44) ta thấy: tất cả các nghiệm của $B(s)$ cho từng phần tương ứng có dạng số mũ của hàm chuyển tiếp $y(t)$. Nếu muốn từng phần $C_l e^{r_l t}$ là hàm tắt dần, thì tất cả các nghiệm r_1, r_2, \dots, r_n của $B(s)$ cần phải là số âm. Nếu bất kỳ một nghiệm r nào là dương, thì $y(t) \rightarrow \infty$ theo thời gian.

b) Nghiệm bội:

Trường hợp $B(s)$ có nghiệm bội, và giả sử nghiệm này lặp lại q lần, thì đa thức $B(s)$ có thể phân thành các thừa số: $B(s) = (s - r)^q (s - r_1) (s - r_2) \dots (s - r_n)$ và phương trình (4.39) có thể viết với các thành phần tương ứng:

$$Y(s) = \frac{A(s)}{B(s)} = \frac{K_q}{(s - r)^q} + \frac{K_{q-1}}{(s - r)^{q-1}} + \dots + \frac{K_1}{(s - r)} + \frac{C_1}{(s - r)} + \dots + \frac{C_n}{(s - r_n)} \quad (4.45)$$

Để xác định K_q , ta nhân cả hai vế phương trình (4.45) với $(s - r)^q$ và lấy giá trị giới hạn khi $s \rightarrow r$ tức là:

$$(s - r)^q Y(s) = K_q + K_{q-1}(s - r) + \dots + K_1(s - r)^{q-1} + \frac{C_1(s - r)^q}{s - r_1} + \dots + \frac{C_n(s - r)^q}{s - r_n} \quad (4.46)$$

Từ đây ta có:

$$K_q = \lim_{s \rightarrow r} [(s - r)^q Y(s)] \quad (4.47)$$

Với phương pháp này ta xác định được K_q , còn các hệ số khác sẽ bằng 0 khi $s \rightarrow r$. Nếu như ta khử được trị số K_q và $(s - r)$ của hệ số K_{q-1} ở vế phải của phương trình (4.46), thì ta có thể xác định được K_{q-1} khi $s \rightarrow r$. Muốn thế ta phải lấy đạo hàm phương trình (4.46) theo s :

$$\frac{d}{ds} [(s - r)^q Y(s)] = K_{q-1} + 2K_{q-2}(s - r) + \dots + qC_1 \frac{(s - r)^{q-1}}{(s - r_1)} + \dots + qC_n \frac{(s - r)^q}{(s - r_n)} \quad (4.48)$$

Từ đây ta có:

$$K_{q-1} = \lim_{s \rightarrow r} \left\{ \frac{d}{ds} [(s - r)^q Y(s)] \right\} \quad (4.49a)$$

Để xác định K_{q-2} , ta đạo hàm phương trình (4.48):

$$K_{q-2} = \lim_{s \rightarrow r} \left\{ \frac{1}{2} \frac{d^2}{ds^2} [(s - r)^q Y(s)] \right\} \quad (4.49)$$

Tương tự như thế ta có:

$$K_{q-k} = \lim_{s \rightarrow r} \left\{ \frac{1}{k!} \frac{d^{(k)}}{ds^{(k)}} [(s-r)^q Y(s)] \right\} \quad (4.50a)$$

Từ C_1 đến C_n ta xác định theo phương pháp đã biết ở công thức (4.42).

Từ bảng biến đổi ta có thể xác định các hàm thời gian tương ứng với các phân thức có hệ số C_q trong trường hợp nghiệm bội:

$$\mathcal{L}^{-1} \left[\frac{1}{(s+r)^q} \right] = \frac{1}{(q-1)!} t^{q-1} e^{-rt} \quad (4.50b)$$

Với cơ sở trên, ta có hàm thời gian tương ứng với phương trình (4.45):

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}[Y(s)] = \frac{K_q t^{q-1} e^{rt}}{(q-1)!} + \frac{K_{q-1} t^{q-2} e^{rt}}{(q-2)!} + \dots + \frac{K_2 t e^{rt}}{1!} + K_1 e^{rt} + C_1 e^{\eta t} + \dots + C_n e^{\xi t} \quad (4.51)$$

Từ phương trình (4.51) ta thấy: tất cả các thành phần của hàm chuyển tiếp $y(t)$ có quan hệ với nghiệm bội $(s-r)^q$, đều có thừa số mũ e^{rt} . Nếu r là số dương, $y(t) \rightarrow \infty$ và nếu r là trị số âm, ta sẽ có hàm mũ thời gian tắt dần.

Thí dụ:

Hãy xác định hàm chuyển tiếp của phương trình biến đổi sau đây:

$$Y(s) = \frac{11s + 28}{(s+2)^2(s+5)}$$

Giải:

Sử dụng công thức (4.45):

$$Y(s) = \frac{A(s)}{B(s)} = \frac{K_2}{(s+2)^2} + \frac{K_1}{s+2} + \frac{C_1}{s+5}$$

Ta dùng công thức (4.47), (4.49) và (4.42) để xác định các hệ số:

$$K_2 = \lim_{s \rightarrow -2} [(s+2)^2 Y(s)] = \lim_{s \rightarrow -2} \frac{11s + 28}{s+5} = 2$$

$$K_1 = \lim_{s \rightarrow -2} \left\{ \frac{d}{ds} [(s+2)^2 Y(s)] \right\} = \lim_{s \rightarrow -2} \left[\frac{d}{ds} \frac{(11s+28)}{s+5} \right] = \lim_{s \rightarrow -2} \frac{(s+5)11 - (11s+28)}{(s+5)^2} = 3$$

$$C_1 = \lim_{s \rightarrow -5} [(s+5) Y(s)] = \lim_{s \rightarrow -5} \frac{11s + 28}{(s+2)^2} = -3$$

$$\text{Do đó: } Y(s) = \frac{2}{(s+2)^2} + \frac{3}{s+2} - \frac{3}{s+5}$$

Dùng bảng để thực hiện biến đổi ngược, ta có:

$$y(t) = 2te^{-2t} + 3e^{-2t} - 3e^{-5t} = (2t+3)e^{-2t} - 3e^{-5t}$$

c/ Nghiệm phức liên hợp

Các nghiệm phức của $B(s)$ luôn có từng đôi liên hợp với nhau. Nếu $B(s)$ có nghiệm phức là $a + jb$ thì nghiệm phức liên hợp của nó là: $a - jb$, tức là phần thực thì giống nhau và phần ảo thì khác dấu nhưng cùng giá trị. Tích hai nghiệm phức liên hợp của $B(s)$ có mối quan hệ bình phương sau đây:

$$(s-a-jb)(s-a+jb) = s^2 - 2a + (a^2 + b^2) \quad (4.52)$$

Ta có thể xác định các trị số a và b của bất cứ đẳng thức bình phương nào bằng cách so sánh các hệ số của chúng với nhau.

Thí dụ:

Xác định các trị số a và b của $s^2 + 4s + 9$.

Giải:

So sánh hệ số của s , ta có: $-2a = 4$; do đó $a = -2$ và $a^2 + b^2 = 9$, nên

$$b = \sqrt{9 - a^2} = \sqrt{9 - 4} = \sqrt{5}$$

Ta cho $B(s)$ có thể phân thành các thừa số: $B(s) = (s-a-jb)(s-a+jb)(s-r_1)\dots(s-r_n)$.

Với nghiệm phức liên hợp, hàm $Y(s)$ có thể phân thành dạng như sau:

$$Y(s) = \frac{A(s)}{B(s)} = \frac{C}{s-a-jb} + \frac{C_o}{s-a-jb} + \frac{C_1}{s-r_1} + \dots + \frac{C_n}{s-r_n} \quad (4.53)$$

Xác định các hằng số C và C_o tương ứng với các nghiệm phức liên hợp cũng tương tự như ở trường hợp đơn, tức là:

$$\begin{aligned} C &= \lim_{s \rightarrow a+jb} \left[(s-a-jb) \frac{A(s)}{(s-a-jb)(s-a+jb)(s-r_1)\dots(s-r_n)} \right] \\ &= \lim_{s \rightarrow a+jb} \left[\frac{1}{2jb} \frac{A(s)}{(s-r)\dots(s-r_n)} \right] = \frac{1}{2jb} K(a+jb) \end{aligned} \quad (4.54)$$

Ở đây:

$$\begin{aligned} K(a+jb) &= \lim_{s \rightarrow a+jb} \frac{A(s)}{(s-r_1)\dots(s-r_n)} = \\ &= \left[(s^2 - 2as + a^2 + b^2) \frac{A(s)}{B(s)} \right]_{s=a+jb} \end{aligned}$$

Tương tự như trên, ta có thể xác định trị số C_o :

$$\begin{aligned} C_o &= \lim_{s \rightarrow a-jb} \left[(s-a+jb) \frac{A(s)}{(s-a-jb)(s-a+jb)(s-r_1)\dots(s-r_n)} \right] \\ &= \lim_{s \rightarrow a-jb} \left[\frac{1}{(-2jb) (s-r_1)\dots(s-r_n)} \right] = -\frac{1}{2jb} K(a+jb) \end{aligned} \quad (4.55)$$

Ở đây:

$$K(a-jb) = \lim_{s \rightarrow a-jb} \frac{A(s)}{(s-r_1) \dots (s-r_n)} = \left[(s^2 - 2as + a^2 + b^2) \frac{A(s)}{B(s)} \right]_{s=a-jb}$$

Các trị số $K(a+jb)$ và $K(a-jb)$ là các số phức liên hợp. Ta có thể thể hiện các số này trên hình 4.2.

Theo hình 4.2 ta có:

$$\left. \begin{aligned} K(a+jb) &= |K(a+jb)| e^{j\alpha} \\ K(a-jb) &= |K(a-jb)| e^{-j\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (4.56)$$

Ở đây: $|K(a+jb)| = |K(a-jb)|$ - độ dài của vectơ.

α - góc của vectơ

Các hằng C , C_0 cũng là các số phức liên hợp, nên ta có thể viết dưới dạng sau:

$$\left. \begin{aligned} C &= \frac{1}{2jb} |K(a+jb)| e^{j\alpha} \\ C_0 &= -\frac{1}{2jb} |K(a+jb)| e^{-j\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (4.57)$$

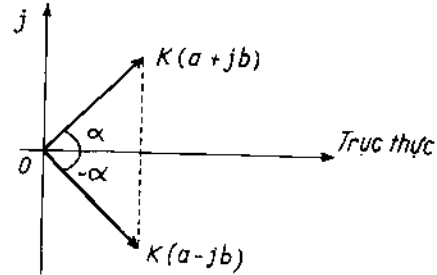
Dựa vào bảng biến đổi Laplace, ta có thể xác định nguyên hàm của phương trình (4.53):

$$y(t) = Ce^{(a+jb)t} + C_0 e^{(a-jb)t} + C_1 e^{\eta_1 t} + C_2 e^{\eta_2 t} + \dots + C_n e^{\eta_n t} \quad (4.58)$$

Thay đẳng thức (4.57) vào (4.58) và rút gọn ta được:

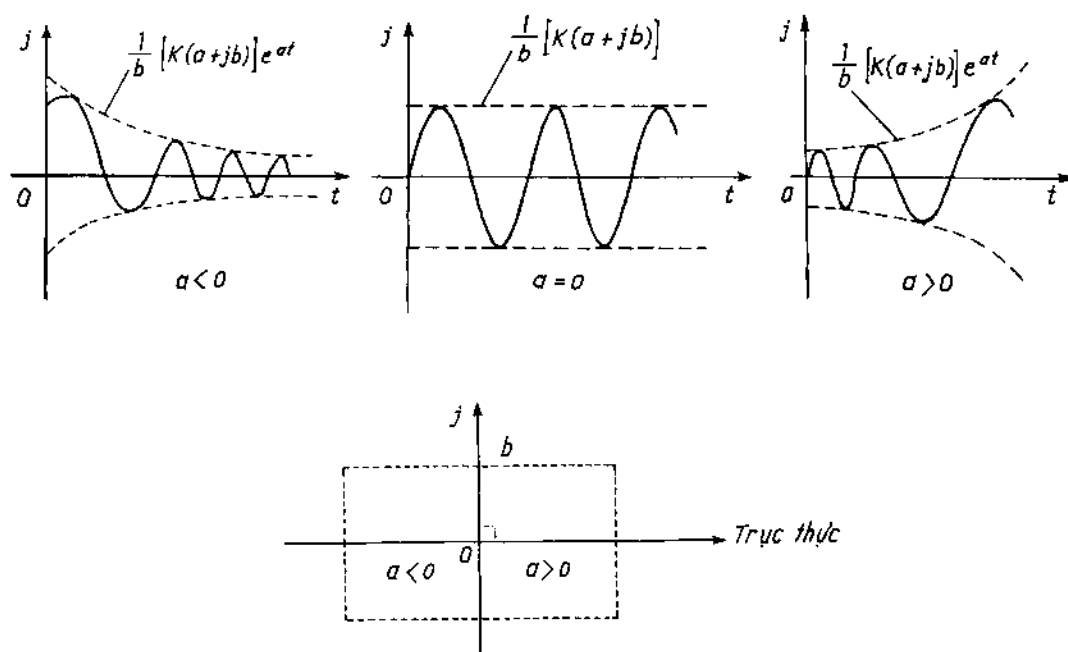
$$\left. \begin{aligned} y(t) &= \frac{1}{b} |K(a+jb)| e^{at} \frac{e^{j(bt+\alpha)} - e^{-j(bt+\alpha)}}{2j} + C_1 e^{\eta_1 t} + \dots + C_n e^{\eta_n t} \\ y(t) &= \frac{1}{b} |K(a+jb)| e^{at} \sin(bt+\alpha) + C_1 e^{\eta_1 t} + \dots + C_n e^{\eta_n t} \end{aligned} \right\} \quad (4.59)$$

Phương trình (4.59) thể hiện hàm điều hòa sin tắt dần theo hàm mũ, xuất phát từ nghiệm phức liên hợp. Số mũ a là phần thực của nghiệm phức liên hợp. Phần ảo b là tần số dao động tắt dần. Thời gian của mỗi dao động là $\frac{2\pi}{b}$. Đường bao hình sin là $\frac{1}{b} |K(a+jb)| e^{at}$. Để hàm mũ giảm dần thì a phải là trị số âm. Trong trường hợp $a = 0$, ta sẽ có hàm sin có biên độ $\frac{1}{b} |K(a+jb)| e^{at}$ không đổi.



Hình 4.2. Các vectơ số phức liên hợp.

Hình 4.3 trình bày các hàm chuyển tiếp xuất phát từ các nghiệm phức liên hợp.



Hình 4.3. Các hàm chuyển tiếp tương ứng với các nghiệm phức liên hợp.

Nếu các nghiệm nằm ở bên trái trục ảo ($a < 0$) thì dao động hình sin sẽ tắt dần; nếu nghiệm nằm ở trên trục ảo ($a = 0$) thì dao động sẽ có biên độ không đổi; nếu nghiệm nằm ở bên phải trục ảo ($a > 0$) thì dao động sẽ tăng dần.

Thí dụ:

Xác định nguyên hàm của hàm biến đổi sau đây:

$$Y(s) = \frac{20}{(s^2 + 4s + 13)(s + 6)}$$

Giải:

Ta xác định các giá trị của a và b bằng cách so sánh:

$$-2a = 4, \text{ do đó } a = -2.$$

$a^2 + b^2 = 13$, do đó $b = \sqrt{13 - 4} = \pm 3$ (để thuận tiện khi tính bằng số, ta chỉ dùng giá trị dương). Từ các giá trị trên ta có:

$$\begin{aligned} K(a + jb) &= \left[(s^2 - 2as + a^2 + b^2) \frac{A(s)}{B(s)} \right]_{s=a-jb} \\ &= \left(\frac{20}{s + 6} \right)_{s=-2+j3} = \frac{20}{4 + j3} \end{aligned}$$

$$|K(a + jb)| = \frac{20}{\sqrt{16+9}} = 4$$

$$\begin{aligned}\alpha = \angle K(a + jb) &= \arctg \frac{\text{Im } K(a + jb)}{\text{Re } K(a + jb)} = \angle \frac{20}{4 + j3} \\ &= \frac{20}{4 + j3} \frac{4 - j3}{4 - j3} = \angle \frac{20}{25} (4 - j3) = \arctg -\frac{3}{4} = -36^\circ 8\end{aligned}$$

$$C_1 = \lim_{s \rightarrow -6} \frac{20}{s^2 + 4s + 13} = \frac{20}{25} = 0,8$$

Trên cơ sở công thức (4.59), ta có:

$$\begin{aligned}y(t) &= \frac{1}{b} |K(a + jb)| e^{at} \sin(bt + \alpha) + C_1 e^{st} \\ &= \frac{4}{3} e^{-2t} \sin(3t - 36^\circ 8) + 0,8 e^{-6t}\end{aligned}$$

Trong đó: Im (Imaginaris) - cần phải lấy phần ảo trong dấu ngoặc đứng sau nó.

Chương 5

ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Nhiệm vụ của một hệ thống điều khiển là đảm bảo mối quan hệ nhất định giữa lượng vào (đại lượng điều khiển) và lượng ra (đại lượng được điều khiển), tức là đảm bảo cho một đại lượng nào đó cần điều khiển được ổn định. Điều đó có nghĩa là: nếu một quá trình chuyển tiếp nào đó được tạo nên do nhiễu, do các tác động từ bên ngoài thì quá trình đó phải tắt dần sau một thời gian nhất định. Ngược lại với quá trình trên, một hệ thống điều khiển có đại lượng cần điều khiển luôn thay đổi, không tuân theo những biến đổi của lượng vào, tạo thành một quá trình dao động, ta gọi hệ thống đó là không ổn định.

Khi thiết kế một hệ thống điều khiển, không chỉ phải đảm bảo cho hệ thống ổn định, mà còn phải ổn định với mức độ cần thiết, tức là quá trình chuyển tiếp, do các tác động nhiễu tạo nên phải chấm dứt nhanh, để lập lại tín hiệu cần điều khiển từ ban đầu.

Trong chương này, chúng ta sẽ đề cập đến những vấn đề về lý thuyết cũng như phương pháp để nghiên cứu tính ổn định.

5.1. KHÁI NIỆM VỀ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Như ta đã biết: một hệ thống điều khiển tự động thường được biểu diễn thành một phương trình vi phân tổng quát:

$$b_n \frac{d^n y}{dt^n} + b_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + b_1 \frac{dy}{dt} + b_0 y = a_m \frac{d^m x}{dt^m} + a_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x \quad (5.1)$$

Tức là:

$$(b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \dots + b_1 p + b_0) y(t) = (a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_1 p + a_0) x(t);$$

Dùng biến đổi Laplace, không tính đến các điều kiện ban đầu, ta sẽ có hàm truyền đạt:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0}{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0} \quad (5.2)$$

Nếu ta cho mẫu số của hàm truyền đạt bằng 0, ta có phương trình đặc tính:

$$b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0 = 0 \quad (5.3)$$

Nếu hệ số $b_n \neq 1$, thì phương trình đặc tính cần chia cho b_n , để cho hệ số của sn luôn bằng 1, phương trình sẽ được đơn giản hơn.

Các hệ số của phương trình đặc tính phản ánh những đặc điểm về dao động của quá trình chuyển tiếp. Nếu nghiệm của phương trình đặc tính là r_i (r_i có thể là nghiệm thực hoặc nghiệm phức liên hợp), thì như ta đã biết, dạng tổng quát của hàm chuyển tiếp là:

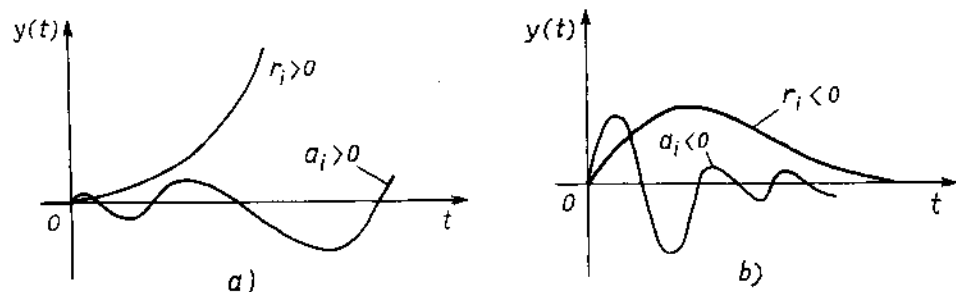
$$y(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{r_i t}$$

Như thế, một hệ thống điều khiển được gọi là ổn định, nếu quá trình chuyển tiếp tắt dần theo thời gian. Hệ thống không ổn định, nếu quá trình chuyển tiếp tăng dần theo thời gian. Hệ thống ở giới hạn ổn định, nếu quá trình chuyển tiếp không đổi, hoặc dao động không tắt dần.

Do đó, cách biểu diễn quá trình chuyển tiếp của một hệ thống điều khiển như sau:

a) Nếu r_i là các nghiệm thực:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} C_i y e^{r_i t} = \begin{cases} 0, & \text{nếu } r_i < 0 \rightarrow \text{hệ ổn định.} \\ C_i, & \text{nếu } r_i = 0 \rightarrow \text{hệ ở giới hạn ổn định.} \\ \infty, & \text{nếu } r_i > 0 \rightarrow \text{hệ không ổn định.} \end{cases}$$



Hình 5.1. Biểu diễn các hàm chuyển tiếp.

b) Nếu nghiệm của phương trình đặc tính là các cặp nghiệm phức liên hợp $(a_i \pm j b_i)$, thì theo công thức (4.59), ta có:

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) &= \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{b_i} \left| K(a_i + j b_i) \right| e^{a_i t} \sin(b_i t + \alpha_i) = \\ &= \begin{cases} 0, & \text{nếu } r_i < 0 \rightarrow \text{hệ thống ổn định} \\ \text{không xác định nếu } a_i = 0 \rightarrow \text{hệ thống ở giới hạn ổn định.} \\ \infty, & \text{nếu } r_i > 0 \rightarrow \text{hệ thống không ổn định.} \end{cases} \end{aligned}$$

Hình 5.1 biểu diễn các hàm chuyển tiếp với các trường hợp nói trên. Hình 5.1a thể hiện các trường hợp không ổn định và hình 5.1b là các trường hợp ổn định.

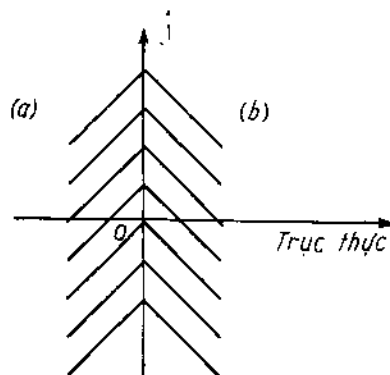
Từ những điều nói trên, ta có thể rút ra kết luận sau đây:

1) Hệ thống được ổn định, nếu tất cả các nghiệm của phương trình đặc tính hình 5.3 có phần thực là âm. Đây là điều kiện toán học của ổn định. Nếu xét về mặt phẳng phức thì hệ thống ổn định, nếu tất cả các nghiệm nằm ở nửa trái của mặt phẳng phức (miền a hình 5.2).

2) Hệ thống sẽ không ổn định, nếu chỉ cần có một nghiệm có phần thực dương tức là có một nghiệm ở nửa phải mặt phẳng phức (miền b hình 5.2).

3) Hệ thống ở giới hạn ổn định, nếu chỉ cần một nghiệm có phần thực bằng 0, còn các nghiệm còn lại có phần thực âm, tức là có một nghiệm ở trên trục ảo và các nghiệm còn lại ở nửa trái mặt phẳng phức.

Độ lớn của phần thực các nghiệm tỷ lệ nghịch với thời gian tắt dần của quá trình chuyển tiếp. Do đó, để cho hệ thống ổn định và quá trình chuyển tiếp tắt nhanh, không chỉ tất cả các nghiệm của phương trình đặc tính nằm ở nửa trái của mặt phẳng phức, mà còn phải nằm càng xa trục ảo thì càng tốt.



Hình 5.2. Các miền ổn định và không ổn định trên mặt phẳng phức

5.2. XÁC ĐỊNH NGHIỆM CỦA PHƯƠNG TRÌNH ĐẶC TÍNH

Muốn xét ổn định của một hệ thống điều khiển, phương pháp trực tiếp nhất là tìm nghiệm của phương trình đặc tính. Như ta đã biết: nghiệm của phương trình đặc tính có thể là số thực hoặc số phức mà thay vào vị trí s , phương trình sẽ bằng 0. Nếu $(s-r)$ là một thừa số nghiệm của phương trình đặc tính, thì $s = +r$ sẽ là nghiệm của phương trình. Do đó, cần phải xác định các thừa số nghiệm của phương trình đặc tính.

5.2.1. Lập phương trình đặc tính

Để có thể biết được vại mối quan hệ giữa các nghiệm phải tìm và các hệ số đã biết, ta lập phương trình đặc tính từ các nghiệm đã biết.

Giả sử, phương trình có 3 nghiệm: r_1 , r_2 và r_3 . Các nghiệm có thể là số thực hoặc số phức, phần thực có thể là dương hay âm.

Các thừa số nghiệm sẽ là:

$$(s - r_1)(s - r_2)(s - r_3) = 0 \quad (5.4)$$

Thực hiện phép nhân trên, ta có:

$$s^3 - (r_1 + r_2 + r_3)s^2 + (r_1r_2 + r_2r_3 + r_3r_1)s - r_1r_2r_3 = 0 \quad (5.5)$$

Giả sử các nghiệm có giá trị sau đây:

$$r_1 = a$$

$$r_2 = b + jc$$

$$r_3 = b - jc$$

Ở đây: a, b, c là các số thực.

Thay các nghiệm này vào phương trình (5.5), ta có:

$$s^3 - (a + 2b)s^2 + (2ab + b^2 + c^2)s - a(b^2 + c^2) = 0 \quad (5.6)$$

Nếu ta nghiên cứu các phương trình (5.4); (5.5) và (5.6) và viết phương trình đặc tính khi có nhiều nghiệm ta có thể thấy giữa các nghiệm và phương trình đặc tính có những mối quan hệ sau đây:

- 1) Bậc của phương trình đặc tính bằng với số lượng các nghiệm.
- 2) Các nghiệm phức chỉ xuất hiện với các cặp liên hợp, vì các hệ số của phương trình đặc tính là những số thực j không thể có trong các hệ số của phương trình đặc tính.
- 3) Phần thực của các nghiệm chỉ có thể âm, tức là hệ thống chỉ có thể ổn định nếu tất cả các hệ số của phương trình đặc tính có dấu giống nhau. Đây là điều kiện cần nhưng chưa đủ.
- 4) Ngược lại: nếu tất cả các hệ số của phương trình đặc tính không cùng dấu hoặc trong các số hạng xếp theo thứ tự có số mũ của s nhỏ dần thiếu một số hạng nào đó thì phần thực của một hoặc nhiều nghiệm sẽ là dương, hệ thống sẽ không ổn định.

Trên cơ sở những mối liên hệ trên, ta có thể xác định sơ bộ hệ thống có thể ổn định hoặc không.

Thí dụ: hệ thống điều khiển có phương trình đặc tính sau đây:

$$0,4s^3 + 0,04s^2 + s + 50 = 0$$

Các hệ số cùng dấu, nên có thể ổn định (vì chưa có điều kiện đủ, nên chưa qua

quyết kết quả!).

Nhưng với phương trình đặc tính:

$$s^4 + 2s^3 - 0,5s^2 + 3s + 20 = 0$$

Hệ thống này không ổn định, vì hệ số của s^2 là $-0,5$ (bị đổi dấu), không thỏa mãn điều kiện cần thiết.

Muốn biết chắc chắn hệ thống có ổn định hay không, thì phải xác định phần thực của các nghiệm phương trình đặc tính có nằm ở nửa trái của mặt phẳng phức hay không.

5.2.2. Giải phương trình đặc tính

a) Giải phương trình bậc hai:

Nếu phương trình đặc tính có dạng bậc hai:

$$as^2 + bs + c = 0$$

Nếu $b^2 > 4ac$ thì các nghiệm của nó sẽ là:

$$s_{1,2} = -\frac{b}{2a} \pm \frac{1}{2a} \sqrt{b^2 - 4ac} \quad (5.7)$$

Nếu $b^2 < 4ac$, thì các nghiệm của nó là:

$$s_{1,2} = -\frac{b}{2a} \pm \frac{j}{2a} \sqrt{4ac - b^2} \quad (5.8)$$

Nếu $b^2 = 4ac$, thì:

$$s_1 = s_2 = -\frac{b}{2a} \quad (5.9)$$

b) Giải phương trình bậc ba:

Nếu phương trình đặc tính là bậc ba:

$$as^3 + bs^2 + cs + d = 0$$

Trên cơ sở phương trình (5.6) ta thấy một nghiệm của phương trình có thể là số thực, hai nghiệm kia có thể là nghiệm thực hoặc cặp nghiệm phức liên hợp.

Xác định nghiệm thực của phương trình bậc ba có thể tiến hành bằng cách sau:

- Vẽ đồ thị của phương trình.
- Phân thành các thừa số nếu có thể.
- Chia phương trình cho một thừa số nghiệm đã chọn trước. Phần còn lại là một phương trình bậc hai, ta có thể tìm nghiệm theo phương pháp đã biết.

Thí dụ:

Giải phương trình sau đây bằng phương pháp thứ ba:

$$s^3 + 9s^2 + 20s + 12 = 0 \quad (5.10)$$

Giải:

Ta phải thử lấy thừa số nghiệm $(s+1)$ và chia phương trình cho nó, ta có thương số:

$$s^2 + 8s + 12 = 0 \quad (5.11)$$

Vì phần còn lại của số cuối cùng bằng 0, nên nghiệm đã chọn $s_1 = -1$ đúng là một nghiệm của phương trình trên. Nếu s_1 không phải là số nguyên, ta chỉ có thể xác định nó bằng nhiều lần chọn thử.

Phương trình (5.11) có thể phân thành các thừa số nghiệm $(s+6)$ và $(s+2)$.

Do đó, phương trình (5.10) có các nghiệm sau đây:

$$s_1 = -1; s_2 = -6; s_3 = -2.$$

c) Giải phương trình bậc bốn:

Ta có phương trình đặc tính sau đây:

$$as^4 + bs^3 + cs^2 + ds + e = 0 \quad (5.12)$$

Vì phương trình này có thể có cặp nghiệm phức liên hợp, cho nên dùng phương pháp đồ thị hoặc chia cho thừa số nghiệm sẽ khó dẫn đến kết quả. Phương pháp thuận lợi hơn là phân phương trình bậc bốn thành hai phương trình bậc hai và xác định các hệ số của các thừa số phương trình bậc hai. Những thừa số này chắc chắn là những số thực.

Ta chia 2 vế của phương trình (5.12) cho a , ta có:

$$s^4 + \frac{b}{a}s^3 + \frac{c}{a}s^2 + \frac{d}{a}s + \frac{e}{a} = 0 \quad (5.13)$$

Ta giả định rằng: phương trình (5.13) có thể phân thành tích của 2 thừa số bậc hai. Sau đó, giải phương trình bậc hai, ta sẽ có nghiệm của phương trình (5.13), tức là:

$$(s^2 + \alpha s + \beta)(s^2 + \gamma s + \delta) = 0$$

Giải ra ta được:

$$s^4 + (\alpha + \gamma)s^3 + (\beta + \delta + \alpha\gamma)s^2 + (\beta\gamma + \alpha\delta)s + \beta\delta = 0 \quad (5.14)$$

So sánh các hệ số của phương trình (5.13) và (5.14), ta có:

$$\left. \begin{aligned} \alpha + \gamma &= \frac{b}{a} \\ \beta + \delta + \alpha\gamma &= \frac{c}{a} \\ \beta\gamma + \alpha\delta &= \frac{d}{a} \\ \beta\delta &= \frac{e}{a} \end{aligned} \right\} \quad (5.15)$$

Vế phải của các phương trình (5.15) là những đại lượng đã biết có cùng dấu đại số. Nếu như ta cho α một giá trị nào đó, thì với 3 phương trình đầu, ta có thể tính được trị số β , γ và δ . Phương trình thứ tư dùng để kiểm tra sự đúng đắn của việc lựa chọn trị số α . Hệ thống được ổn định, nếu α , β , và δ là dương.

Thí dụ:

Xác định nghiệm của phương trình sau đây:

$$0,0039s^4 + 0,1037s^3 + 0,992s^2 + 2,264s + 3,19 = 0$$

$$0,0039(s^4 + 26,6s^3 + 254,4s^2 + 581,0s + 818) = 0$$

So sánh hệ số của các thừa số bậc hai với các hệ số của phương trình trên:

$$\alpha + \gamma = 26,6$$

$$\beta + \delta + \alpha = 254,4$$

$$\beta\gamma + \alpha\delta = 581$$

$$\beta\delta = 818$$

Giải phương trình đơn giản trên, ta có $\alpha = 24,08$; $\beta = 190$; $\gamma = 2,52$ và $\delta = 4,31$.

Từ đó, ta có hai thừa số bậc hai:

$$s^2 + 24,08s + 190 = 0 \text{ và } s^2 + 2,52s + 4,31 = 0$$

Và nghiệm của phương trình này:

$$s_{1,2} = -12,04 \pm j6,75$$

$$s_{3,4} = -1,26 \pm j1,65$$

d) Giải phương trình bậc năm:

Giải phương trình sau đây:

$$as^5 + bs^4 + cs^3 + ds^2 + es + f = 0$$

Nếu ta rút ra một thừa số nghiệm, thì phần còn lại của phương trình trên là phương trình bậc bốn. Cách giải phương trình bậc bốn được tiến hành theo phương

pháp đã biết.

Thí dụ:

Giải phương trình bậc 5 sau đây:

$$0,0030s^5 + 0,10565s^4 + 1,0438s^3 + 2,760s^2 + 4,322s + 1,595 = 0$$

Thử lấy thừa số nghiệm $(s + 0,5)$ và chia phương trình trên cho nó, ta có phần dư bằng 0, nên một nghiệm của phương trình trên là $s = -0,5$. Thương số của phép chia là phương trình bậc bốn:

$$0,0039s^4 + 0,1037s^3 + 0,992s^2 + 2,264s + 3,190 = 0$$

Phương trình này giống với phương trình ở thí dụ trước, nên 4 nghiệm còn lại là những kết quả đã tính ở trên.

Tìm nghiệm của phương trình có bậc cao hơn 5 là một công việc khá khó khăn, nên việc xét ổn định được thay thế bằng một phương pháp gián tiếp, đơn giản hơn, đó là các tiêu chuẩn ổn định.

Tiêu chuẩn ổn định có thể chia thành hai loại:

- Tiêu chuẩn đại số: tìm điều kiện ràng buộc giữa các hệ số của phương trình đặc tính để đạt được ổn định. Đó là các tiêu chuẩn ổn định Routh, Hurwitz.

- Tiêu chuẩn ổn định tần số: thông qua đặc tính tần số của hệ thống để xét ổn định. Đó là tiêu chuẩn ổn định Mikhailôp và Nyquist.

Sau đây ta sẽ lần lượt xét các tiêu chuẩn trên.

5.3. TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH ĐẠI SỐ

Đây là tiêu chuẩn nhằm xác định các điều kiện của các hệ số phương trình đặc tính đảm bảo cho hệ thống ổn định.

5.3.1. Tiêu chuẩn Routh

Đây là tiêu chuẩn nhằm xác định xem các nghiệm của phương trình đặc tính có nằm ở nửa phải của mặt phẳng phức hay không.

Để có thể phát biểu tiêu chuẩn này, ta cần lập bảng Routh của phương trình đặc tính tổng quát:

$$b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + b_{n-2} s^{n-2} + \dots + b_2 s^2 + b_1 s + b_0 = 0 \quad (5.16)$$

Bảng Routh có dạng:

$$\left. \begin{array}{cccc}
 b_n & b_{n-2} & b_{n-4} & b_{n-6} \dots \\
 \swarrow & \downarrow & \swarrow & \downarrow \\
 b_{n-1} & b_{n-3} & b_{n-5} & b_{n-7} \dots \\
 c_1 & c_2 & c_3 & c_4 \\
 d_1 & d_2 & d_3 & \\
 \dots & & & \\
 e_1 & e_2 & 0 & \\
 f_1 & f_2 & & \\
 g_1 & 0 & & \\
 h_1 & 0 & &
 \end{array} \right\} \quad (5.17)$$

Hai hàng đầu của bảng bao gồm các hệ số b của phương trình đặc tính được sắp xếp theo chiều mũi tên. Các hệ số khác được xác định như sau:

$$\left. \begin{array}{l}
 c_1 = \frac{b_{n-1}b_{n-2} - b_n b_{n-3}}{b_{n-1}} \\
 c_2 = \frac{b_{n-1}b_{n-4} - b_n b_{n-5}}{b_{n-1}} \\
 c_3 = \frac{b_{n-1}b_{n-6} - b_n b_{n-7}}{b_{n-1}}
 \end{array} \right\} \quad (5.18)$$

Tương tự như thế, ta xác định các hệ số khác. Với việc bỏ hàng đầu, ta xác định hệ số d và cứ tiếp tục cho đến hàng nào có kết quả là số 0.

Do đó:

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \frac{c_1 b_{n-3} - b_{n-1} c_2}{c_1} \\
 d_2 &= \frac{c_1 b_{n-5} - b_{n-1} c_3}{c_1}
 \end{aligned} \quad (5.19)$$

Tiêu chuẩn Routh phát biểu rằng: số lần đổi dấu của các số hạng trong cột thứ nhất của bảng Routh bằng với số các nghiệm của phương trình đặc tính nằm ở nửa phải của mặt phẳng phức. Nói một cách khác: điều kiện cần và đủ để cho hệ thống ổn định là các số hạng trong cột thứ nhất của bảng Routh phải cùng dấu.

Thí dụ: Khảo sát phương trình đặc tính sau đây:

$$s^4 + 3s^3 + s^2 + 6s + 2 = 0$$

Lập bảng Routh theo biểu thức (5.17):

$$\begin{array}{cccc}
 1 & 1 & 2 & 0 \\
 3 & 6 & 0 & \\
 -1 & 2 & 0 & \\
 12 & 0 & & \\
 2 & 0 & &
 \end{array}$$

Cột thứ nhất của bảng Routh có số hạng -1, tức là có 2 lần đổi dấu: từ +3 qua -1 và từ -1 qua +12. Như thế có nghĩa là: phương trình có 2 nghiệm nằm ở nửa phải của mặt phẳng phức, hệ thống không ổn định.

Cần chú ý:

- Nếu phương trình đặc tính có một hệ số nào đó bằng 0 hoặc âm, thì không cần dùng tiêu chuẩn Routh vì như ta đã biết: khi đó cũng có ít nhất một nghiệm nằm trên trục ảo hoặc nằm trên nửa phải của mặt phẳng phức, hệ thống không ổn định.

- Nếu trong cột thứ nhất của bảng Routh có một số hạng bằng 0 và số hạng ở trên số 0 ngược dấu với số hạng ở dưới số 0 thì không có sự đổi dấu. Nếu số hạng trên số 0 cùng dấu với số hạng dưới số 0 thì có một cặp nghiệm nằm trên trục ảo, hệ thống không ổn định.

Để làm sáng tỏ điều này, ta xét thí dụ sau đây:

$$s^3 + 3s^2 + 4s + 12 = (s + 3)(s^2 + 4) \quad (5.20)$$

Ta lập bảng Routh:

1	4	0
3	12	0
0	0	
$\frac{0-0}{0}$		

Số hạng thứ tư trong cột thứ nhất của bảng Routh bằng 0. Để xác định nó, ta thay số 0 ở số hạng thứ 3 bằng một số rất bé $\varepsilon \approx 0$. Trên cơ sở đó ta có bảng Routh:

1	4	0
3	12	0
$\varepsilon \approx 0$	0	0
12	0	

Giá trị của số hạng thứ tư là: $\frac{12\varepsilon - 0}{\varepsilon} = 12$

Dạng thừa số ở đẳng thức (5.20) cũng đã chỉ ra rằng: có một cặp nghiệm nằm trên trục ảo, vì $s^2 = \sqrt{-4} = \pm j2$. Trên bảng Routh cải biến ta có số hạng trên và dưới $\varepsilon \approx 0$ cùng dấu, cho nên đã chứng minh cho điều kiện trên.

5.3.2. Tiêu chuẩn Hurwitz

Tiêu chuẩn này xác định những điều kiện mà các hệ số của phương trình đặc

tính cần phải có để cho hệ thống ổn định (tức là, để cho tất cả các nghiệm của phương trình nằm ở nửa trái mặt phẳng phức).

Để xác định tiêu chuẩn này, ta cần lập định thức Hurwitz của phương trình đặc tính (5.16):

$$\left. \begin{array}{ccccccc} \Delta_1 & b_1 & b_0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ \Delta_2 & b_2 & b_1 & b_0 & 0 & 0 & \dots \\ \Delta_3 & b_3 & b_2 & b_1 & b_0 & 0 & \dots \\ \Delta_4 & b_4 & b_3 & b_2 & b_1 & b_0 & \dots \end{array} \right\} \quad (5.21)$$

Các hệ số của phương trình đặc tính viết theo chiều mũi tên có chỉ số tăng dần. Các định thức được xác định như sau:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= b_1 \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} b_1 & b_0 \\ b_3 & b_2 \end{vmatrix} \\ \Delta_3 &= \begin{vmatrix} b_1 & b_0 & 0 \\ b_3 & b_2 & b_1 \\ b_5 & b_4 & b_3 \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (5.22)$$

Tiêu chuẩn Hurwitz xác định rằng: điều kiện cần và đủ để hệ thống ổn định là các định thức Hurwitz phải dương, tức là $\Delta_1 > 0$; $\Delta_2 > 0$; $\Delta_3 > 0$, v...v.

Thí dụ:

Khảo sát phương trình đặc tính bậc 3 sau đây:

$$b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0 = 0$$

Điều kiện để ổn định là:

$$\Delta_1 = b_1 > 0$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} b_1 & b_0 \\ b_3 & b_2 \end{vmatrix} = b_1 b_2 - b_0 b_3 > 0$$

$$\Delta_3 = b_3 \Delta_2 > 0 \rightarrow b_3 > 0$$

$$\text{Do đó, điều kiện để ổn định: } b_1 b_2 > b_0 b_3. \quad (5.23)$$

Đối với phương trình bậc hai: $b_2 s^2 + b_1 s + b_0 = 0$ thì điều kiện ổn định là: $b_1 > 0$.

Cần lưu ý:

- Tiêu chuẩn ổn định Hurwitz là dạng biểu diễn khác của tiêu chuẩn Routh.
- Tiêu chuẩn Hurwitz thường dùng với hệ thống phương trình đặc tính bậc thấp (dưới bậc 4). Cả hai loại tiêu chuẩn này đều dùng cho hệ thống kín và hở.

Ta có thể giảm nhẹ được nhiều công việc khi dùng tiêu chuẩn Routh - Hurwitz, nếu ta biến đổi phương trình đặc tính thành dạng đơn giản hơn với một tỷ lệ xích nhất định. Vì phương trình đặc tính bằng 0, đẳng thức này vẫn không thay đổi, nếu ta chia nó cho đại lượng không đổi.

$$b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + b_{n-2} s^{n-2} + \dots + b_2 s^2 + b_1 s + b_0 = 0$$

$$\frac{b_n s^n}{g} + \frac{b_{n-1} s^{n-1}}{g} + \frac{b_{n-2} s^{n-2}}{g} + \dots + \frac{b_2 s^2}{g} + \frac{b_1}{g} + \frac{b_0}{g} = 0 \quad (5.24)$$

Nếu ta thay $s = V\lambda$ thì phương trình cải biến vẫn có đặc điểm ổn định hoặc không ổn định như phương trình đầu. Do đó, sử dụng tiêu chuẩn Routh - Hurwitz cho phương trình cải biến cũng sẽ đưa đến kết quả như đối với phương trình đầu.

Cho nên, phương trình (5.24) có thể viết:

$$\frac{b_n V^n \lambda^n}{g} + \frac{b_{n-1} V^{n-1} \lambda^{n-1}}{g} + \dots + \frac{b_2 V^2 \lambda^2}{g} + \frac{b_1 V \lambda}{g} + \frac{b_0}{g} = 0 \quad (5.25)$$

Nếu ta lấy $g = b_0$, thì hệ số $\frac{b_0}{g}$ sẽ bằng một đơn vị, và với việc lựa chọn trị số V thích hợp, hệ số $\frac{b_n V^n}{g}$ cũng sẽ bằng một đơn vị, phương trình sẽ đơn giản hơn.

Thí dụ:

Cho phương trình đặc tính của hệ thống điều khiển sau đây:

$$100s^5 + 1100s^4 + 9000s^3 + 105.10^3s^2 + 12.10^5s + 10^7 = 0.$$

Ta lấy $g = b_0 = 10^7$ và $\frac{b_n V^n}{g} = 1$

Trên cơ sở đó, ta xác định V .

$$V = \left(\frac{g}{b_n} \right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{10^7}{100} \right)^{\frac{1}{5}} = 10$$

Thay các trị số trên vào phương trình (5.25), ta có:

$$\frac{10^3 \cdot 10^6}{10^7} \lambda^5 + \frac{1,1 \cdot 10^3 \cdot 10^4}{10^7} \lambda^4 + \frac{0,9 \cdot 10^4 \cdot 10^3}{10^7} \lambda^3 + \frac{1,05 \cdot 10^5 \cdot 10^3}{10^7} \lambda^2 +$$

$$+ \frac{1,2 \cdot 10^5 \cdot 10}{10^7} \lambda + \frac{1,2 \cdot 10^6 \cdot 10}{10^7} \lambda + \frac{10^7}{10^7} = 0$$

Đơn giản hóa ta được:

$$\lambda^5 + 1,1\lambda^4 + 0,9\lambda^3 + 1,05\lambda^2 + 1,2\lambda + 1 = 0$$

Với phương trình này ta sử dụng tiêu chuẩn Routh-Hurwitz rất dễ dàng.

5.4. TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH MIKHAILÔP

Giả sử ta có phương trình đặc tính theo hình 5.3:

$$b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0 = 0$$

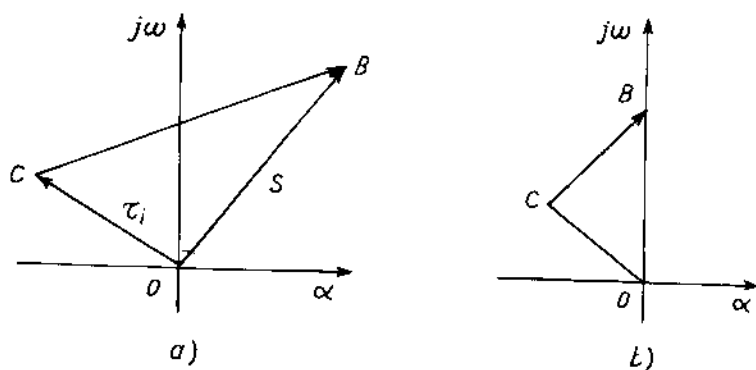
Nó có n nghiệm với r_1, r_2, \dots, r_n nên thừa số nghiệm của nó là:

$$(s - r_1)(s - r_2) \dots (s - r_n) = 0 \quad (5.26)$$

Ở đây, s là một số phức bất kỳ:

$$s = \alpha + j\omega \quad (5.27)$$

Một số phức có thể biểu thị trên mặt phức $\alpha, j\omega$ bằng một vectơ với môđun (chiều dài vectơ) và argumen (góc vectơ) nào đó. Số phức (5.27) có thể biểu thị bằng vectơ \overline{OB} trên hình 5.3a.



Hình 5.3. Biểu diễn một thừa số nghiệm phức.

r_1, r_2, \dots, r_n là các nghiệm của phương trình đặc tính, nên một nghiệm r_i nào đó cũng có thể viết: $r_i = \alpha_i + j\omega_i$ và đặc trưng bằng vectơ \overline{OC} .

Hiệu của vectơ $(s - r_i)$ là vectơ \overline{CB} .

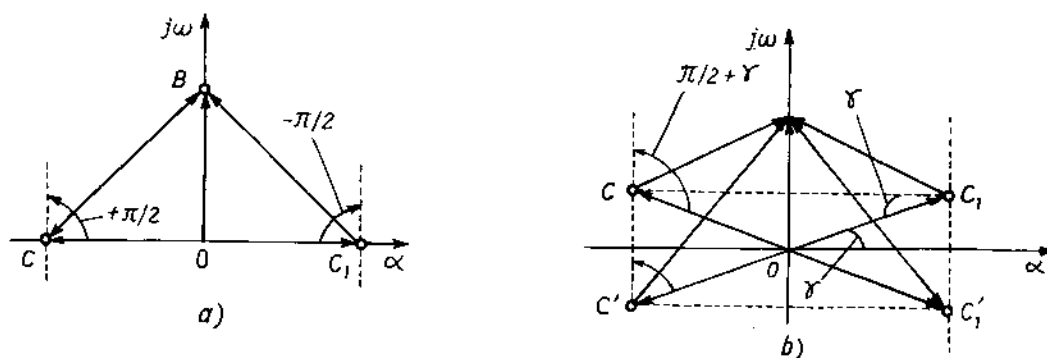
Vì s là số bất kỳ, để đơn giản, ta có thể chọn sao cho $s = j\omega$ (tức là $\alpha = 0$) và khi đó điểm B sẽ nằm trên trục ảo (hình 5.3b).

Ta hãy xét góc quay của một vectơ, khi ω biến thiên từ 0 đến $+\infty$.

a) Trường hợp nghiệm thực: $r_i = \alpha_i$ (hình 5.4a).

• Nếu $\alpha_i > 0$, vectơ của $(s - r_i)$ là $\overline{C_1 B}$ sẽ quay một góc $\Delta \arg$, khi ω biến đổi từ 0 đến $+\infty$, tức là khi điểm B trượt trên trục ảo từ $0 \rightarrow +\infty$. Ta có:

$$\begin{aligned} \Delta \arg \overline{C_1 B} &= -\pi/2 \\ 0 < \omega < +\infty \end{aligned}$$



Hình 5.4. Góc quay của các vectơ biểu diễn theo ω

- Nếu $\alpha_i < 0$, vectơ $(s - r_i)$ là có góc quay:

$$0 < \omega < +\infty$$

b) Trường hợp nghiệm phức: $r_i = \alpha_i \pm j\omega_i$ (hình 5.4b).

- Nếu $\alpha_i > 0$, vectơ $\overline{C_1 B}$ và $\overline{C'_1 B}$ tương ứng với cặp nghiệm phức liên hợp $r_i = \alpha_i + j\omega_i$ và $r_i = \alpha_i - j\omega_i$.

Khi có biến thiên từ $0 \rightarrow \infty$, thì sẽ có góc quay:

$$\Delta \arg \overline{C_1 B} = -(\frac{\pi}{2} + \gamma) \text{ và } \Delta \arg \overline{C'_1 B} = -(\frac{\pi}{2} - \gamma)$$

$$0 < \omega < +\infty$$

$$0 < \omega < +\infty$$

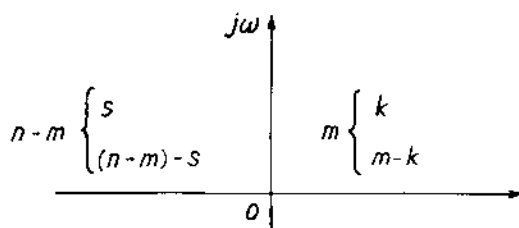
- Nếu $\alpha_i < 0$, các vectơ \overline{CB} và $\overline{C'B}$ tương ứng với $r_i = -\alpha_i + j\omega_i$ và $r_i = -\alpha_i - j\omega_i$ sẽ có góc quay:

$$\Delta \arg \overline{CB} = \pi/2 + \gamma \text{ và } \Delta \arg \overline{C'B} = \pi/2 - \gamma$$

$$0 < \omega < +\infty$$

$$0 < \omega < +\infty$$

Giả sử ta có m nghiệm ở bên phải trục ảo, trong đó có k nghiệm thực và $m-k$ nghiệm phức. Trong số $n-m$ nghiệm còn lại của phương trình đặc tính, nằm ở phía trái trục ảo, ta có s là nghiệm thực và $(n-m)-s$ là nghiệm phức (hình 5.5):



Hình 5.5. Vị trí các nghiệm của phương trình đặc tính.

Như vậy, khi ω biến thiên từ $0 \rightarrow \infty$, góc quay tổng quát của m vectơ nằm phía bên phải trục ảo là:

$$\varphi_1 = -k \frac{\pi}{2} - \frac{m-k}{2} \left(\frac{\pi}{2} + \gamma \right) - \frac{m-k}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) = -m \frac{\pi}{2}$$

Góc quay tổng của $(n - m)$ vectơ nằm phía trái trục ảo sẽ là:

$$\varphi_2 = -k \frac{\pi}{2} - \frac{n-m-s}{2} \left(\frac{\pi}{2} + \gamma \right) - \frac{n-m-s}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) = (n-m) \frac{\pi}{2}$$

Do đó, góc quay tổng của n vectơ đặc trưng cho các nghiệm ở biểu thức (5.26) là:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = -m \frac{\pi}{2} + (n-m) \frac{\pi}{2} = (n-2m) \frac{\pi}{2} \quad (5.28)$$

Nếu các nghiệm của phương trình đặc tính theo dạng thức (5.26) đều nằm bên trái trục ảo (hệ thống ổn định), tức là $m = 0$, thì từ công thức (5.28) ta có góc quay tổng của các vectơ phương trình đặc tính là:

$$\varphi = n \frac{\pi}{2} \quad (5.29)$$

Do đó, tiêu chuẩn ổn định Mikhailôp phát biểu như sau:

a) Điều kiện cần và đủ để hệ thống kín tuyến tính bậc n được ổn định là vectơ của phương trình đặc tính của hệ thống ấy quay một góc $\varphi = n \frac{\pi}{2}$ khi tần số biến thiên từ $0 \rightarrow +\infty$ hay:

b) Điều kiện cần và đủ để hệ thống tuyến tính bậc n được ổn định là hàm phần thực là $U(\omega)$ và phần ảo $V(\omega)$ của phương trình đặc tính hệ thống kín cắt trục hoành n lần (kể cả $\omega = 0$) và xen kẽ nhau.

Để làm rõ về hai của tiêu chuẩn trên, ta xét thí dụ sau đây:

Cho phương trình đặc tính của hệ thống kín:

$$B(s) = 1,25 \cdot 10^{-3} s^3 + 0,0506 s^2 + 0,675 s + 3 = 0$$

Ta thay $s = j\omega$ (tức là dùng vectơ s với $\alpha = 0$) vào đẳng thức trên:

$$B(j\omega) = -1,25 \cdot 10^{-3} j\omega^3 - 0,0506 \omega^2 + 0,675 j\omega + 3 = 0$$

$$B(j\omega) = (3 - 0,0506\omega^2) + j(0,675\omega - 1,25 \cdot 10^{-3}\omega^3) = U(\omega) + jV(\omega)$$

Thay các trị số ω khác nhau, ta tính các hàm $U(\omega)$ và $V(\omega)$ vào bảng 5.1.

Bảng 5.1. Giá trị tính $U(\omega)$ và $V(\omega)$ theo (ω)

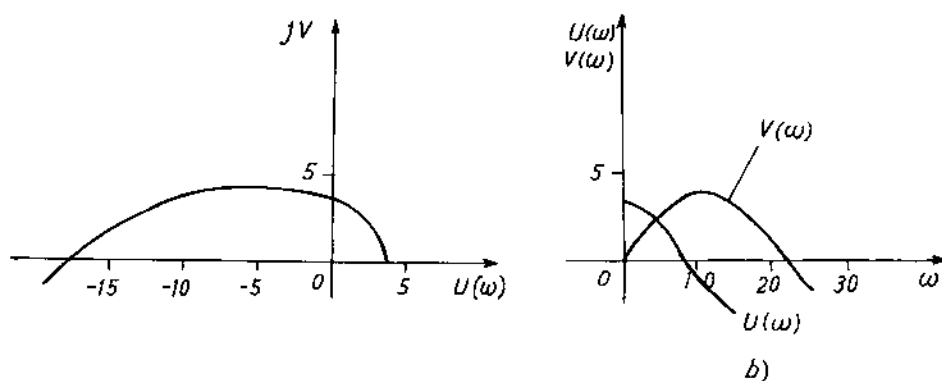
(ω)	0	1	3	6	8	10	20	30	50	100
$U(\omega)$	3	2,95	2,545	1,18	-0,24	-2,06	-17,2	-4,25	-123	-503
$V(\omega)$	0	0,674	2	3,78	4,77	5,5	3,5	-13,5	-142	-1183

Với các trị số trên bảng 5.1, ta biểu diễn đường đặc tính Mikhailốp $B(j\omega)$ trên hình 5.6.

Với hệ thống của phương trình đặc tính bậc 3 như trên đường đặc tính $B(j\omega)$ quay một góc $\varphi = 3\frac{\pi}{2}$, khi ω biến thiên từ $0 \rightarrow +\infty$ (hình 5.6a); hoặc phần thực và phần ảo của chúng cắt trục hoành 3 lần và xen kẽ nhau (hình 5.6b). Hệ thống như thế thì ổn định.

(Đường đặc tính cắt các ô phần tư toạ độ theo tuần tự xen kẽ, nghĩa là khi đi từ ô này sang ô kia, dấu của phần thực và phần ảo các vectơ xen kẽ biến đổi).

Các phương pháp xác định tính ổn định đã trình bày trên chỉ thuần là các biện pháp toán học để chỉ rõ hệ thống ổn định hay không ổn định. Ta còn một tiêu chuẩn ổn định được dùng rộng rãi hơn là tiêu chuẩn Nyquist. Tiêu chuẩn Nyquist có thể thể hiện rõ các đặc điểm về vật lý. Thí dụ: nếu tác động vào hệ thống điều khiển kín một tín hiệu hình sin, ở tần số nào đó tín hiệu ra sẽ lệch pha với tín hiệu vào và bằng hoặc lớn hơn nó, thì hệ thống sẽ không ổn định. Tiêu chuẩn Nyquist sẽ xác định được điều này trong dạng toán học chính xác. Ta sẽ đề cập kỹ càng hơn về tiêu chuẩn này ở phần sau.



Hình 5.6. Đường đặc tính Mikhailốp.

5.5. TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH NYQUIST

Tiêu chuẩn ổn định Nyquist có hàng loạt đặc điểm phản ánh các đặc tính động của hệ thống điều khiển. Trước hết nó khẳng định phương trình đặc tính có nghiệm nằm ở nửa phải của mặt phẳng phức hay không, kể đó nó có thể xác định về mức độ ổn định, về khả năng để nâng cao độ ổn định. Vì thế nó được dùng rộng rãi để nghiên cứu ổn định.

5.5.1. Phương trình đặc tính của hệ thống kín

Như ta đã biết: tiêu chuẩn Hurwitz và Mikhailốp dùng phương trình đặc tính

của hệ thống kín để khảo sát tính ổn định của hệ thống, còn tiêu chuẩn Nyquist thì dùng đường đặc tính tần số biên pha của hệ thống hở và hệ thống kín. Trên cơ sở đó, xét khả năng ổn định của hệ thống kín theo đường đặc tính tần số biên pha của hệ thống hở.

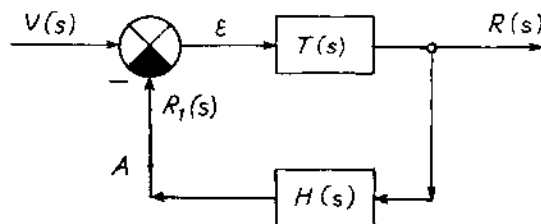
Từ hình 5.7 ta có thể viết hàm truyền đạt của hệ thống kín:

$$T_k(s) = \frac{R(s)}{V(s)} = \frac{T(s)}{1 + T(s)H(s)} \quad (5.30)$$

Nếu ta ngắt mạch phản hồi tại điểm A, ta sẽ có hệ thống hở và hàm truyền đạt của nó sẽ là:

$$T_h(s) = \frac{R_1(s)}{V(s)} = T(s)H(s) \quad (5.31)$$

Các hàm truyền đạt $T(s)$ và $H(s)$ bao gồm trong nó các hệ số khuếch đại và những phần có chứa s trong hàm truyền đạt của các phần tử điều khiển. Thông thường nó là những hàm phân số có tử và mẫu số là các tổng của những số hạng s có số mũ nguyên. Vì thế, biểu thức (5.31) còn có thể viết dưới dạng:



Hình 5.7. Sơ đồ khối của hệ thống kín

$$T_h(s) = \frac{N(s)}{D(s)} \quad (5.32)$$

Ở đây: $N(s)$ và $D(s)$ là những đa thức dưới dạng toán tử của lượng ra và lượng vào.

Thay đẳng thức (5.32) vào (5.30) ta có:

$$T_k(s) = \frac{T(s)}{1 + T_h(s)} = \frac{T(s)}{1 + \frac{N(s)}{D(s)}} \quad (5.33)$$

Từ đây ta có thể xác định phương trình đặc tính của hệ thống kín bằng cách:

$$1 + T_h(s) = 1 + \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{D(s) + N(s)}{D(s)} \quad (5.34)$$

Tử và mẫu số của biểu thức (5.34) là những đa thức và số mũ của đa thức $N(s)$ luôn nhỏ hơn hoặc bằng số mũ của đa thức $D(s)$. Do đó, nếu mẫu số của biểu thức (5.34) là:

$$D(s) = 0 \quad (5.35)$$

có bao nhiêu nghiệm, thì tử số của nó là:

$$D(s) + N(s) = 0 \quad (5.36)$$

cũng có bấy nhiêu nghiệm.

Biểu thức (5.35) là phương trình đặc tính của hệ thống hở và phương trình (5.36) là phương trình đặc tính của hệ thống kín. Do đó, biểu thức (5.34) có thể viết:

$$1 + T_h(s) = \frac{\text{Phương trình đặc tính hệ thống kín bậc } n}{\text{Phương trình đặc tính hệ thống hở bậc } n} \quad (5.37)$$

Nghiệm số của các phương trình đặc tính là khác nhau, nên nếu hệ thống hở ổn định chưa chắc hệ thống kín đã ổn định và nếu hệ thống hở không ổn định, hệ thống kín có thể ổn định.

5.5.2. Tiêu chuẩn Nyquist theo đặc tính tần số biên pha

1) Phát biểu:

Điều kiện cần và đủ để:

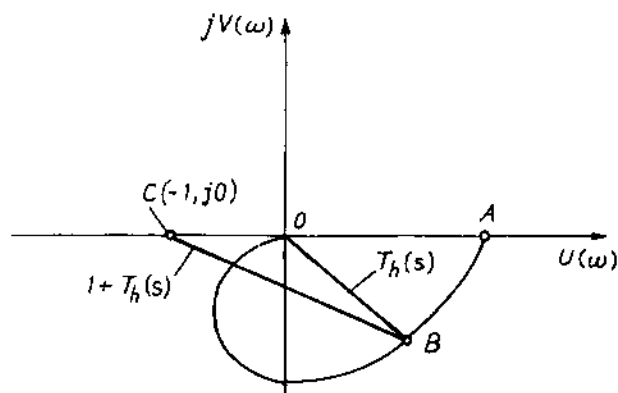
a) Hệ thống kín ổn định, nếu hệ thống hở ổn định và đường đặc tính tần số biên pha của hệ thống hở không bao lấy điểm $(-1, j0)$.

b) Hệ thống kín ổn định, nếu hệ thống hở không ổn định và đường đặc tính tần số biên pha của hệ thống hở bao lấy điểm $(-1, j0)$ $m\pi$ lần theo hướng dương. Ở đây m là số nghiệm có phần thực dương của phương trình đặc tính hệ thống hở.

2) Chứng minh:

Trên hình 5.8 ta có:

$$\overline{CB} = \overline{CO} + \overline{OB} = 1 + T_h(s) \quad (5.38)$$



Hình 5.8. Mối quan hệ giữa hệ thống hở và hệ thống kín.

Như thế, vectơ \overline{CB} đặc trưng cho mối quan hệ giữa hệ thống kín và hệ thống hở qua biểu thức (5.37). Như ta đã biết: đường đặc tính tần số biên pha $T_h(j\omega)$ không bao điểm $(-1, j0)$ nếu góc quay của vectơ \overline{CB} bằng 0, khi đỉnh B chuyển động từ A đến 0, tức là ω biến thiên từ 0 đến $+\infty$. Nếu góc quay khác 0 thì đường đặc tính ấy sẽ bao lấy điểm $(-1, j0)$. Hình 5.8 biểu thị đường đặc tính $T_h(j\omega)$ không bao điểm $(-1, j0)$.

Nếu ta thay $s = j\omega$ vào biểu thức (5.34) ta có:

$$F(j\omega) = 1 + T_h(j\omega) = \frac{D(j\omega) + N(j\omega)}{D(j\omega)} = Me^{j(\varphi - \varphi')} \quad (5.39)$$

• Theo mục a) của tiêu chuẩn Nyquist, thì khi hệ thống hở ổn định, các nghiệm của phương trình đặc tính hệ thống hở $D(s)$ đều nằm ở phía trái trục ảo. Do đó, khi ω biến thiên từ 0 $\rightarrow \infty$, theo tiêu chuẩn Mikhailôp, góc quay của vectơ tổng sẽ là $\varphi = n \frac{\pi}{2}$.

Số mũ của $N(s)$ luôn nhỏ hơn hoặc bằng số mũ của $D(s)$, nên số mũ của tử số vẫn là n . Do đó, nghiệm của biểu thức $D(s) + N(s)$ cũng sẽ nằm phía trái trục ảo và góc quay của vectơ tổng sẽ là $\varphi = n \frac{\pi}{2}$, khi ω biến thiên từ 0 đến ∞ .

Từ đó vectơ của phương trình đặc tính $F(j\omega = 1 + T_h(j\omega))$ sẽ quay một góc $\varphi - \varphi' = 0$ khi ω biến thiên từ 0 đến ∞ và đường đặc tính tần số biên pha của hệ thống hở không bao điểm $(-1, j0)$.

Từ hình 5.8 ta thấy: điểm gốc của vectơ phương trình đặc tính của hệ thống kín không phải tại 0 mà là tại C với tọa độ $(-1, j0)$.

• Theo vế mục b) của tiêu chuẩn Nyquist, thì khi hệ thống hở không ổn định (giả sử có m nghiệm ở bên vế phải và $(n - m)$ nghiệm ở bên trái trục ảo) và hệ thống kín ổn định thì góc quay của vectơ $1 + T_h(j\omega)$ khi ω biến thiên từ 0 $\rightarrow \infty$ là:

$$\varphi - \varphi' = n \frac{\pi}{2} \left[(n - m) \frac{\pi}{2} - m \frac{\pi}{2} \right] = m\pi$$

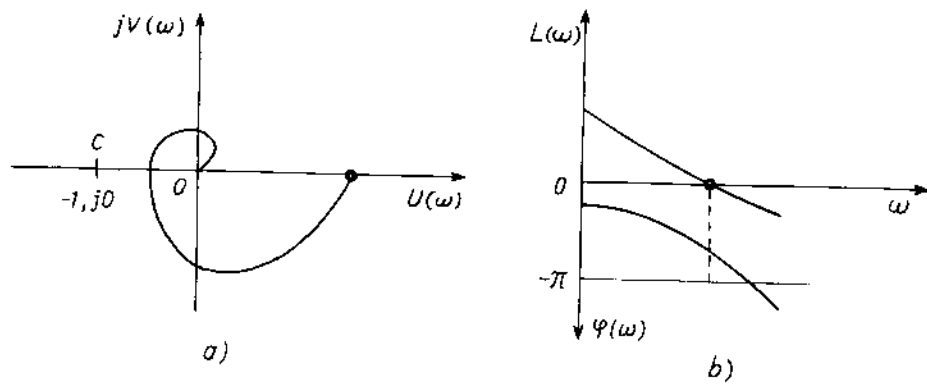
Đường đặc tính tần số biên pha của hệ thống hở bao điểm $(-1, j0)m\pi$ lần. Tiêu chuẩn trên đã được chứng minh.

5.5.3. Tiêu chuẩn Nyquist theo đặc tính tần số logarit

Điều kiện cần và đủ để hệ thống kín ổn định là đường đặc tính tần số pha logarit của hệ thống hở không cắt đường thẳng $-\pi$ hay cắt đường thẳng $-\pi$ với số lần chẵn khi đường đặc tính tần số biên độ logarit có trị số dương.

Trên hình 5.9a, tại điểm tới hạn C có tọa độ $(-1, j0)$ ứng với góc của vectơ $T_h(j\omega)$

là $-\pi$. Nếu đường đặc tính tần số biên pha đi qua điểm ấy, hệ thống ở giới hạn ổn định, và biên độ $A(\omega) = 1$, tức là $L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 0$.



Hình 5.9. Đường đặc tính tần số biên pha và biên độ, pha logarit.

Ở hệ thống ổn định, khi $\varphi = -\pi$, trị số $A(\omega) < 1$ để đường đặc tính $T_{li}(j\omega)$ không bao điểm tới hạn $(-1, j0)$, và do đó $L(\omega) = 20 \lg A(\omega) < 0$.

Ưu điểm của tiêu chuẩn Nyquist theo tần số lôgarit là đơn giản, dễ dàng, không những vẽ được bằng phương pháp tính toán, mà còn bằng phương pháp thực nghiệm. Do đó nó được sử dụng rộng rãi, nhất là đối với những hệ thống một vòng.

PHẦN II. ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG

Chương 6

TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG

6.1. MỞ ĐẦU

Có thể nói thế kỷ thứ XX là thế kỷ của tự động hóa mà một khâu quan trọng không thể thiếu được là điều chỉnh tự động. Không có điều chỉnh tự động thì không có tự động hóa hoặc cao hơn và không thể có tự động hóa phức hợp - điều khiển học.

Mọi người đều biết, một xã hội có hình thái cao hơn phải là xã hội có khả năng tạo ra sản phẩm có số lượng và chất lượng tốt hơn. Chỉ có tự động hóa mới có thể sản xuất nhiều sản phẩm có chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật hơn hẳn các cách sản xuất thô sơ khác.

Từ đó ta đi đến kết luận rằng: *"Sự khác nhau giữa các thời đại kinh tế không phải là ở chỗ người ta sản xuất gì mà là người ta sản xuất như thế nào, bằng phương tiện gì?"*.

Cách đây 60 nghìn năm người cổ đại dùng phương tiện phóng lao để săn thú, phải 10 nghìn năm sau mới xuất hiện cung tên. Cũng như cách đây 5500 năm người ta nghĩ ra cách dùng đòn bẩy thì phải 3500 năm sau mới biết dùng ròng rọc.

Cuộc cách mạng kỹ thuật lần thứ nhất và quá trình cơ giới hóa trên phạm vi rộng lớn đã đẩy chế độ phong kiến đến diệt vong. Và người ta thường nói: *"Lịch sử phát triển xã hội là lịch sử phát triển sản xuất"*.

Nhờ tự động hóa mà cuối những năm 60 và đầu thập kỷ này năng lượng điện tính theo đầu người kể cả trẻ con là 1100 kW/giờ hàng năm, gấp 3 lần năng lượng sản ra của một lao động chân tay làm 8 giờ mỗi ngày.

Chúng ta cũng biết rằng, phương thức sản xuất bao hàm lực lượng sản xuất và quan hệ sản xuất. Nếu giữa lực lượng sản xuất và quan hệ sản xuất có sự thống nhất thì chế độ xã hội sẽ vững vàng. Song do sự tiến bộ của trí tuệ và khoa học kỹ thuật, lực lượng sản xuất phát triển một cách năng động nên nó đã phá vỡ sự thống

nhất trên. Nếu xã hội không có khả năng lập lại sự thống nhất đó thì mâu thuẫn này sẽ đập tan chế độ xã hội cản trở nó. Tuy nhiên ở những nước phát triển hiện nay thì tự động hóa lại đi đôi với thất nghiệp, đẩy nhân dân lao động vào bản cùng hóa tương đối. Vấn đề mâu thuẫn hiện nay là khủng hoảng thừa, không phải vì nhu cầu của con người không tồn tại trước hàng hóa, mà vì sự chênh lệch giữa sức mua và sức sản xuất.

Kỹ thuật điều chỉnh tự động phát triển khá mạnh vào cuối thế kỷ thứ XVIII. Nhất là cuối thế kỷ XIX đến nay kỹ thuật điều chỉnh tự động đã ứng dụng rộng rãi trong sản xuất và quân sự.

Có điều chắc chắn rằng chúng ta là những người sẽ được chứng kiến nhiều sự kiện mới mẻ gắn liền với khoa học điều chỉnh tự động vào những năm còn lại của thế kỷ này

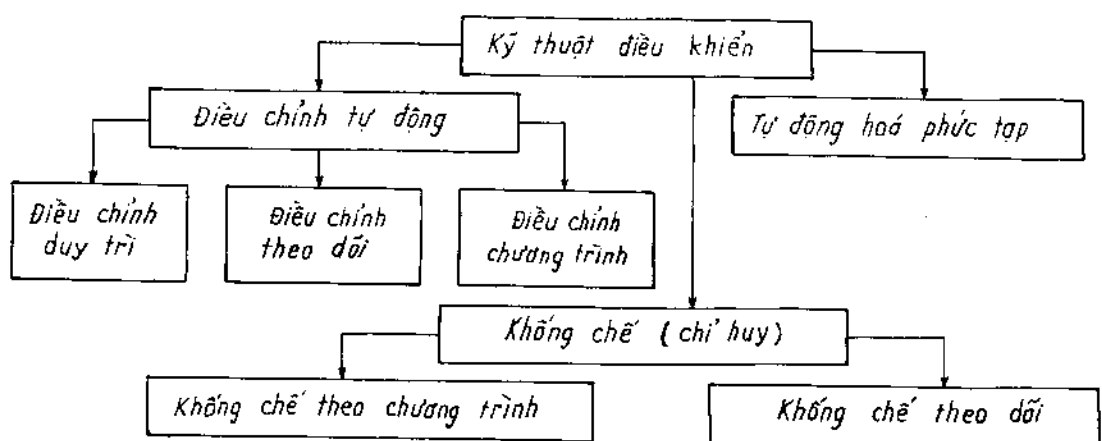
6.2. MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN

6.2.1. Nhiệm vụ của điều chỉnh tự động (ĐCTĐ)

Nhiệm vụ của ĐCTĐ là duy trì một hay nhiều đặc tính, đại lượng đã cho của một quá trình công nghệ (kinh tế hay sinh học, v.v...) trên một giá trị cố định hoặc một chương trình cho trước, chống lại tác động của nhiễu loạn bên ngoài.

Một quá trình ĐCTĐ là một hoạt động có ý thức nhằm khởi động, duy trì, làm thay đổi hoặc chấm dứt một quá trình kỹ thuật nào đó. Chức năng duy trì của hoạt động trên chính là nhiệm vụ của điều chỉnh tự động.

6.2.2. Sơ đồ cấu trúc trong điều chỉnh tự động, hình 6.1.



Hình 6.1. Sơ đồ tổng quát điều chỉnh tự động

6.3. CÁC BỘ PHẬN CẤU THÀNH CHỦ YẾU CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU CHỈNH

Một hệ thống điều chỉnh bao giờ cũng có 2 phần chủ yếu: đối tượng cần điều chỉnh và bộ điều chỉnh.

Trong một thiết bị hay một tổ hợp thiết bị được gọi là đối tượng cần điều chỉnh, nếu trong đó diễn ra quá trình biến đổi vật chất và năng lượng, đồng thời nhờ vào hoạt động điều chỉnh mà ta can thiệp trực tiếp được và làm cho hoạt động của nó phù hợp với mong muốn của ta. Về tính chất động học, đối tượng này được coi là khâu được điều chỉnh.

Bộ điều chỉnh là tổ hợp các cơ cấu thực hiện nhiệm vụ điều chỉnh qua các bước đo lường (quan sát và nhận định) và tiến hành can thiệp vào đối tượng cần điều chỉnh theo hướng có lợi mong muốn.

6.3.1. Các khái niệm cơ bản của một hệ điều chỉnh

a) *Đặc tính được điều chỉnh* là đại lượng vật lý, đo lường được một cách trực tiếp hay gián tiếp, cần được điều chỉnh của một quá trình nào đấy.

b) *Đặc tính nhiễu*. Mọi ảnh hưởng xuất hiện ngẫu nhiên độc lập với quá trình điều chỉnh nhưng lại tác động trực tiếp vào đối tượng cần được điều chỉnh làm thay đổi đặc tính được điều chỉnh, đồng thời là nguyên nhân cần tới một hoạt động điều chỉnh được gọi đặc tính nhiễu.

c) *Đặc tính can thiệp*. Tác động có ý thức do bộ điều chỉnh phát ra nhằm chống lại ảnh hưởng của nhiễu lên đối tượng cần điều chỉnh gọi là đặc tính can thiệp.

Nói chung, có thể nói đặc tính được điều chỉnh là đặc tính ra và đặc tính nhiễu hay đặc tính cơ sở đều là đặc tính vào. Để thống nhất danh từ với điều khiển học thì đặc tính được gọi là *tín hiệu*.

6.3.2. Nguyên lý hoạt động của điều chỉnh

* Một quá trình không biến động gì và người ta cũng không muốn làm thay đổi nó thì không cần có hoạt động điều chỉnh.

* Một đại lượng cần điều chỉnh nhưng không đo lường được thì khả năng điều chỉnh cũng không tồn tại được.

* Một quá trình không bị ảnh hưởng bởi nhiễu loạn bên ngoài thì cũng không cần tới hoạt động điều chỉnh.

* Nếu không tìm được một đại lượng vật lý mà sự thay đổi của nó có khả năng ứng đối lại với ảnh hưởng của nhiễu loạn bên ngoài lên quá trình, ta không thực hiện được mục đích điều chỉnh.

* Một quá trình đòi hỏi và có thể áp dụng một hoạt động điều chỉnh nếu thỏa mãn các điều kiện sau:

- Tồn tại một hay nhiều đặc tính được điều chỉnh mà ta có thể đo lường được.
- Thực sự tồn tại một hay nhiều đặc tính nhiễu.
- Có khả năng tạo được một hay nhiều đặc tính can thiệp.

6.3.3. Phân loại các quá trình điều chỉnh

Có thể tóm tắt quá trình điều chỉnh như sau: quan sát-đo lường-nhận định-can thiệp. Theo hình thức hoạt động thì điều chỉnh có thể liên tục, liên tục từng đoạn và gián đoạn.

a) Quá trình điều chỉnh là liên tục, nếu trong mạch điều chỉnh mọi tín hiệu đều là hàm liên tục của thời gian và đường đặc tính tĩnh của từng phần tử trong hệ là liên tục. Đường đặc tính tĩnh thể hiện qua hệ $x_k = f(x_{k-1})$, nghĩa là quan hệ giữa đặc tính ra và đặc tính vào trong trạng thái xác lập. Trong đa số các mạch điều chỉnh, giá trị định trước của đặc tính được điều chỉnh là một hằng. Thường đặc tính không lấy mọi giá trị của nó, mà chỉ dừng lại ở điểm công tác hay lân cận ở điểm này.

Các hệ điều chỉnh liên tục không có thời gian chết thường gặp trong kỹ thuật như: điều chỉnh số vòng quay của tuabin, điều chỉnh ăn dao của máy chép hình và mài vô tâm, v.v...

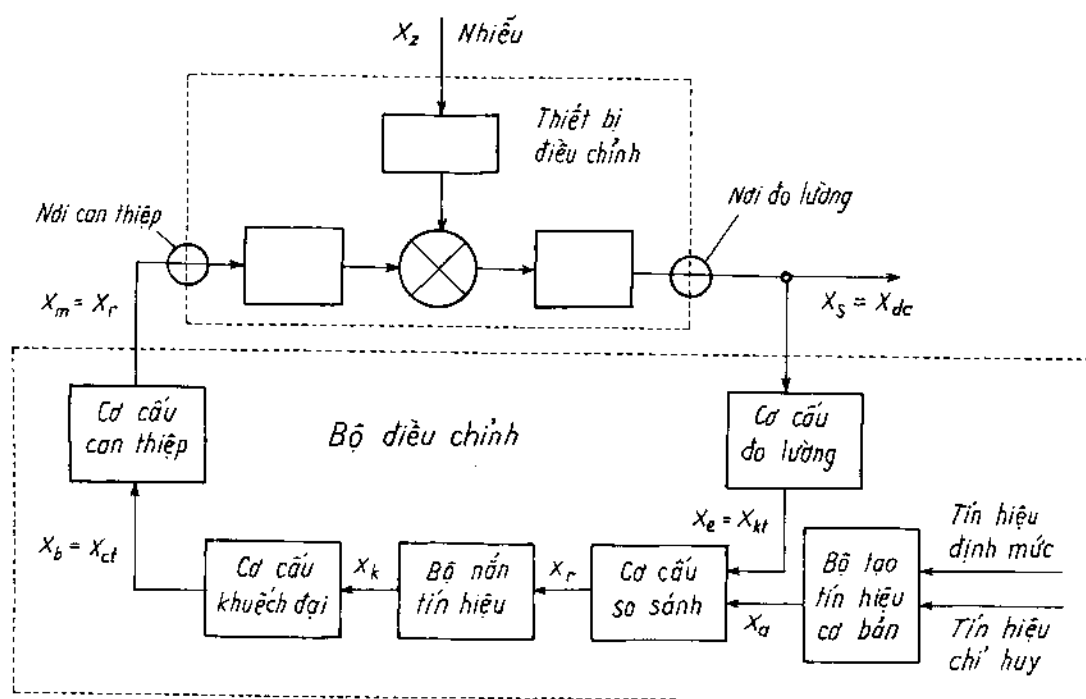
b) Quá trình điều chỉnh là liên tục từng đoạn, nếu mọi tín hiệu của nó đều tồn tại ở mọi thời điểm, nhưng trong số các tín hiệu truyền, trong đó có những tín hiệu chỉ lấy các giá trị rời rạc. Điều chỉnh liên tục từng khoảng có thể là hai, ba hay nhiều vị trí. Điều đó tùy thuộc vào tín hiệu biến thiên rời rạc lấy một, hai hay nhiều giá trị khác nhau. Ví dụ, điều chỉnh nhiệt độ trong bàn là có hai vị trí điều chỉnh.

c) Điều chỉnh gián đoạn là các tín hiệu duy trì khi tác động dưới một thời gian rất ngắn, sau các khoảng thời gian cách đều, không một lượng thông tin nào được truyền đi. Các hệ điều chỉnh gián đoạn còn được phân chia thành hai nhóm: đó là các hệ lấy mẫu và các hệ con số.

6.4. SƠ ĐỒ KHỐI TỔNG QUÁT CỦA MỘT HỆ ĐIỀU CHỈNH

Ở đây, khâu được điều chỉnh là đặc tính biến đổi tín hiệu vào của cơ cấu can thiệp gọi là đặc tính can thiệp $X_b = X_{ct}$, còn địa điểm ra của nó $X_m = X_r$ địa điểm mà cơ cấu can thiệp tác động gọi là nơi can thiệp.

Tín hiệu ra của khâu được điều chỉnh là đặc tính được điều chỉnh $X_a = X_{dt}$. Đặc tính được điều chỉnh làm hoạt động cơ cấu đo lường (quan sát), nhờ đó tạo được tín hiệu kiểm tra là $X_e = X_{kt}$. Nơi lấy tín hiệu điều chỉnh vào cơ cấu đo lường là nơi quan sát.



Hình 6.2. Sơ đồ tổng quát của một quá trình điều chỉnh.

Đối với một thiết bị cần điều chỉnh thì nơi can thiệp, cũng như nơi quan sát, có thể rất khác nhau, vì phải tùy thuộc vào đặc tính được điều chỉnh, cụ thể là đặc tính nào, đại lượng vật lý nào. Cơ cấu tạo tín hiệu cơ sở điều chế tín hiệu tỉ lệ (thuận) với tín hiệu cơ sở. Tín hiệu vào của cơ cấu này có thể là tín hiệu chuẩn, nếu điều chỉnh là duy trì và có thể là tín hiệu chỉ đạo, nếu điều chỉnh là theo dõi. Tín hiệu ra của cơ cấu này là tín hiệu cơ sở X_a . Cơ cấu so sánh tạo chênh lệch của tín hiệu kiểm tra là X_e và tín hiệu cơ sở X_a sẽ tạo nên tín hiệu hiệu điều khiển $X_r = X_{dk}$ để vào cơ cấu so sánh.

Cơ cấu khuếch đại dùng để nâng mức năng lượng của tín hiệu điều chỉnh và trong trường hợp cần thiết làm thay đổi bản chất vật lý của tín hiệu này. Tín hiệu vào của cơ cấu khuếch đại trực tiếp là tín hiệu điều khiển X_r hay dưới dạng đã biến đổi (đã nắn X_k) còn tín hiệu ra là đặc tính can thiệp X_b .

6.5. CÁC CƠ CẤU CHỦ YẾU DÙNG TRONG HỆ ĐIỀU CHỈNH

6.5.1. Cơ cấu quan sát (đo lường)

Thường các hiện tượng vật lý làm cơ sở cho nguyên lý hoạt động của các cơ cấu quan sát, nó đồng nhất với các hiện tượng vật lý của các thiết bị đo lường.

Mục đích của thiết bị đo lường là biến đổi các đại lượng cần đo thành các tín hiệu có thể quan sát được như dịch chuyển của kim chỉ thị. Ngược lại thì tín hiệu đo cơ cấu đo lường phát ra phải có khả năng so sánh được, ví dụ như sự dịch chuyển góc quay, lực, mômen, áp suất, điện áp, cường độ dòng điện, v.v. ...

Nếu đặc tính điều chỉnh là một đại lượng vật lý có thể trực tiếp đem so sánh được thì chẳng cần cơ cấu so sánh. Trường hợp này rất hiếm, ví dụ, điều chỉnh điện áp của máy phát điện một chiều, thì không cần cơ cấu quan sát riêng. Nếu đặc tính được điều chỉnh là đại lượng vật lý không đem so sánh được, ví dụ: nhiệt độ, số vòng quay, v.v... người ta phải dùng bộ chuyển đổi (tín hiệu) để cải tạo dạng xuất hiện, đồng thời còn thay đổi cả mức năng lượng của nó. Nhiều khi việc chuyển đổi tín hiệu này phải thực hiện bằng nhiều cấp với việc sử dụng năng lượng phụ. Những bộ chuyển đổi thế này có thể là đầu chuyển đổi điện áp, bộ đo số vòng quay bằng đinamô, v. v... trong đó tín hiệu số vòng quay được chuyển sang tín hiệu điện áp.

6.5.2. Cơ cấu tạo tín hiệu cơ sở

Cơ cấu này điều chế tín hiệu tỷ lệ với giá trị mong muốn của đặc tính được điều chỉnh. Nếu điều chỉnh là duy trì, cần có kết cấu có khả năng duy trì với độ chính xác cao, giá trị của tín hiệu có cùng bản chất (vật lý) và cùng độ lớn so với tín hiệu kiểm tra, cũng như có khả năng điều chỉnh tùy ý về độ lớn trong miền đã cho, nếu đặc tính kiểm tra là áp suất hay lưu lượng. Để điều chỉnh tín hiệu bằng áp suất, lưu lượng có độ ổn định cao phải dùng đường đặc tính phi tuyến của một số linh kiện nhất định. Nếu tín hiệu kiểm tra là lực hoặc mômen thì phải dùng lò xo chịu ứng lực, còn nếu là lượng dịch chuyển hay góc quay, phải dùng cơ cấu (chuyển) động học được cố định tại một điểm để tạo giá trị cơ sở.

6.5.3. Cơ cấu tạo chênh lệch

Cơ cấu này làm nhiệm vụ nhận định và so sánh tín hiệu cơ sở với tín hiệu kiểm tra. Tín hiệu ra của cơ cấu tạo chênh lệch là tín hiệu điều khiển. Tín hiệu này tỷ lệ thuận với tín hiệu cơ sở và tín hiệu kiểm tra.

6.5.4. Cơ cấu khuếch đại

Thường thường mức năng lượng của các tín hiệu kiểm tra là nhỏ, nên người ta buộc phải dùng năng lượng phụ trợ để khuếch đại tín hiệu lên mức năng lượng sao cho cơ cấu can thiệp đủ khả năng hoàn thành nhiệm vụ. Cơ cấu dùng năng lượng phụ trợ đó được gọi là cơ cấu khuếch đại.

6.5.5. Cơ cấu nắm tín hiệu

Nếu dáng điệu động học của hệ điều chỉnh không đạt yêu cầu (ví dụ, về độ nhay, tính ổn định, v.v...) thì cần thiết phải đưa thêm vào hệ thống một cơ cấu phụ trợ có tác động tốt đến toàn bộ quá trình điều chỉnh, người ta gọi chúng là cơ cấu nắm tín hiệu (hay hiệu chỉnh). Thường chúng được đặt giữa cơ cấu tạo chênh lệch và cơ cấu khuếch đại.

6.5.6. Cơ cấu can thiệp

Cơ cấu này có nhiệm vụ thay đổi giá trị của đặc tính biến đổi theo mức độ cần thiết. Nếu đặc tính can thiệp là sự dịch chuyển vị trí mà tín hiệu ra của cơ cấu khuếch đại là các đại lượng vật lý khác, người ta phải dùng động cơ trợ động làm vai trò của một cơ cấu trung gian. Tùy theo năng lượng phát động mà động cơ trợ động có thể là loại thủy lực, điện, khí nén, v.v...

6.6. NHỮNG YÊU CẦU TỔNG QUÁT ĐỐI VỚI MỘT QUÁ TRÌNH ĐIỀU CHỈNH

1) Trong điều chỉnh duy trì nó phải đảm bảo duy trì đặc tính được điều chỉnh trên một giá trị không đổi, chống lại mọi ảnh hưởng của các nhiễu bên ngoài tác động lên hệ.

2) Trong điều chỉnh theo dõi thì nó phải làm cho đặc tính được điều chỉnh bám sát sự biến động của đặc tính cơ sở, bất chấp ảnh hưởng của nhiễu bên ngoài.

Nói chung yêu cầu cơ bản của mọi quá trình điều chỉnh là phải ổn định. Một quá trình điều chỉnh được coi là lý tưởng, nếu diễn biến theo thời gian của đặc tính điều chỉnh giống như đặc tính cơ sở, nghĩa là không có sai lệch điều chỉnh, cả trong trạng thái xác lập cũng như trong quá trình quá độ. Nhưng trong thực tế, quá trình

điều khiển lý tưởng không thể thực hiện được, do giữa đặc tính cơ sở và đặc tính được điều chỉnh có các phần tử trễ. Để đạt được quá trình điều chỉnh gần lý tưởng bao nhiêu thì hệ thống càng phức tạp bấy nhiêu. Do đó phải có sự nhân nhượng hợp lý giữa bảo đảm chất lượng nhưng cấu trúc phải đơn giản và giá thành chấp nhận được. Đặc trưng cho sự chính xác của điều chỉnh là độ sai lệch điều chỉnh, đó là sự sai khác giữa giá trị đạt được và giá trị yêu cầu của các đặc tính điều chỉnh. Độ nhạy cũng là khái niệm đặc trưng cho độ chính xác và chất lượng của điều chỉnh. Độ nhạy cho biết sự biến thiên tương đối của một thông số bất kỳ thuộc hệ, sẽ gây ra sự biến thiên tương đối như thế nào theo hàm của một đặc tính nào đó của mạch điều chỉnh. Độ nhạy càng lớn điều chỉnh càng được đánh giá tốt, nghĩa là sự biến thiên lớn trong đặc tính nhiều càng ít ảnh hưởng tới trạng thái ban đầu của hệ.

Bằng ngôn ngữ toán học, người ta biểu diễn độ nhạy như sau:

$$S_p^w = \frac{\partial w / w}{\partial p / p}$$

Trong đó: S_p^w - độ nhạy

P - thông số thay đổi

W - một hàm truyền hay hàm tần của hệ.

Từ đó ta có thể định nghĩa: *độ nhạy là sự so sánh tương đối giữa hàm truyền của hệ với thông số thay đổi của hệ.*

6.7. CHẤT LƯỢNG ĐIỀU CHỈNH

Chất lượng điều chỉnh được đặc trưng bởi những thông số sau:

6.7.1. Độ quá điều chỉnh

Độ quá điều chỉnh được biểu diễn như sau:

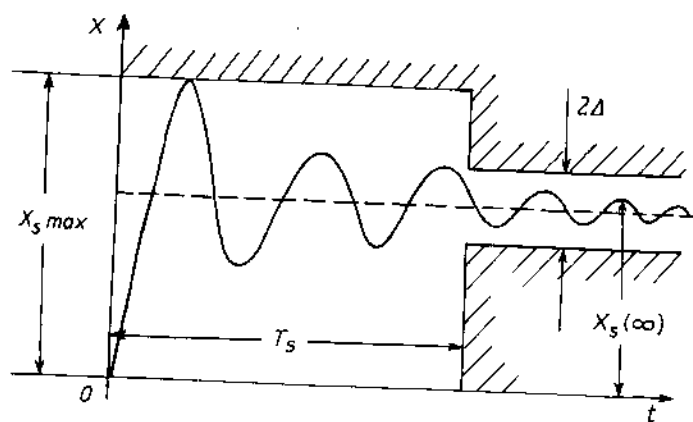
$$\sigma = \frac{X_{s \max} - X_s(\infty)}{X_s(\infty)} \cdot 100\%$$

Ở đó: $X_s(\infty)$ - giá trị của đặc tính điều chỉnh trong trạng thái xác lập.

6.7.2. Thời gian quá độ hay thời gian điều chỉnh:

Đây là thời gian cần thiết để đặc tính được điều chỉnh sai khác với giá trị trong trạng thái xác lập nhiều nhất là $\Delta\%$. Nghĩa là, tồn tại bất đẳng thức: $\sigma \leq \Delta$, nếu: $t \geq T_s$ (thời gian quá độ). Người ta gọi Δ là độ chính xác động của điều chỉnh và thường lấy $\Delta = \pm 5\%$. Người ta còn có thể đề ra số lần dao động xảy ra trong khoảng thời gian quá độ T_s . Quá trình điều chỉnh càng có chất lượng cao, nếu độ quá điều chỉnh càng nhỏ; nếu thời gian quá độ T_s càng ngắn, độ chính xác động càng cao (Δ càng nhỏ) số

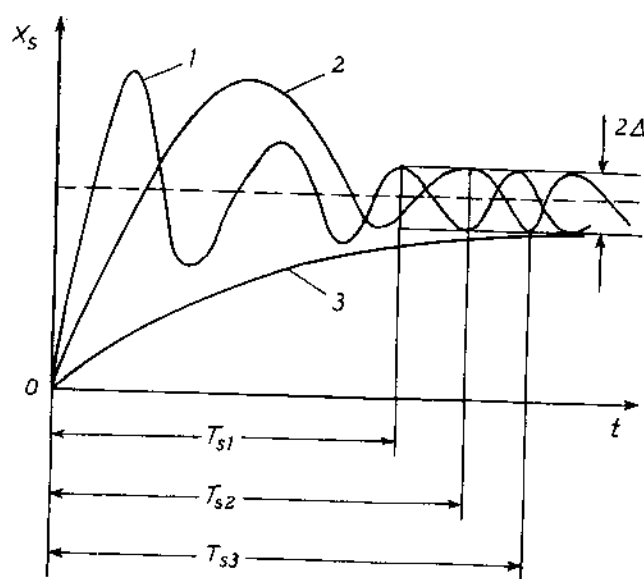
lần dao động trong thời gian T_s càng nhỏ. Nếu bằng các giá trị đặc trưng: σ , T_s , Δ , mà đạt yêu cầu chất lượng đối với một hệ điều chỉnh, thì hệ sẽ thỏa mãn các yêu cầu đặt ra ở trên khi đặc tính được điều chỉnh trong quá độ không phạm vào vùng gạch chéo, hình 6.3.



Hình 6.3. Diễn biến theo thời gian của đặc tính

6.8. BA PHƯƠNG ÁN KHẢ DĨ ĐỂ GIẢI QUYẾT MỘT BÀI TOÁN ĐIỀU CHỈNH

Trên hình 6.4 ta thấy nếu giả sử cần điều chỉnh lực hãm (phanh) một ô tô thì rõ ràng quá trình (1) và (2) sẽ bất lợi, vì trị số dao động của gia tốc ở đây gây ra những phụ tải lớn về cơ khí, hoặc làm cho bánh trượt trên đường. Cho nên có thể coi quá trình (3) là phù hợp nhất, mặc dù nó có hằng số thời gian lớn hơn. Trường hợp đối với các máy chếp hình cũng tương tự như vậy, bởi lẽ ở đây cũng không được phép tồn tại hiện tượng quá điều chỉnh. Ngược lại ở các mạch lọc tần số sự dao động là cần thiết. Trong trường hợp cần có hằng số thời gian nhỏ cũng vậy, vì đó là mục tiêu.



Hình 6.4. Đường đặc tính của ba phương án điều chỉnh.

6.9. CÁC TIÊU CHUẨN ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG

6.9.1. Diện tích điều chỉnh tuyến tính

$$I_l = \int_0^{\infty} [X_s(\infty) - X_s(t)] dt$$

Quá trình điều chỉnh nào có I_l nhỏ hơn được coi là có chất lượng cao hơn.

6.9.2. Diện tích tuyệt đối

$$I_a = \int_0^{\infty} [X_s(\infty) - X_s(t)] dt$$

Tích phân này coi mọi sai lệch đều mang dấu dương. Ở đây việc xác định I_a bằng giải tích thường gặp khó khăn.

6.9.3. Diện tích điều chỉnh bình phương

$$I_n = \int_0^{\infty} [X_s(\infty) - X_s(t)]^2 dt$$

Xem như mọi sai lệch đều mang dấu dương. Dễ dàng xác định I_n bằng phương pháp giải tích. Do phép bình phương mà ở giai đoạn đầu của quá trình quá độ nó tăng cường ảnh hưởng đến sai lệch điều chỉnh, nhưng về sau sai lệch nhỏ dần, hầu như không có ảnh hưởng gì đáng kể.

6.9.4. Các tích phân

$$I_{lm} = \int_0^{\infty} [X_s(\infty) - X_s(t)] t^m dt$$

$$I_{am} = \int_0^{\infty} [X_s(\infty) - X_s(t)] t^m dt$$

$$I_{nm} = \int_0^{\infty} [X_s(\infty) - X_s(t)]^m dt$$

Chú ý:

Sai lệch lớn ở thời điểm sau lưu ý nhiều hơn so với sai lệch cùng độ lớn ở thời điểm trước.

Đối với thời gian quá độ các đòi hỏi càng ngặt nghèo thì nên chọn m càng lớn hơn (m là gia trọng thời gian cho sai lệch điều chỉnh).

Nếu dùng phương pháp giải tích người ta vận dụng I_n , còn dùng máy tính tương tự lại vận dụng I_a .

6.9.5. Phương pháp phương trình vi phân

Phương trình vi phân của hệ tuyến tính nói chung có dạng:

$$a_n \frac{d^n x_K}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_K}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx_K}{dt} + a_0 x_K = b_m \frac{d^m x_b}{dt^m} + \dots + b_0 x_b$$

Hay ở dạng rút gọn:

$$\sum_{i=i_0}^n a_i \frac{d^i x_K}{dt^i} = \sum_{b=i_0}^m b_i \frac{d^i x_b}{dt^i}$$

Trong kỹ thuật điều chỉnh nhiều khi thay cho các hệ số hằng người ta dùng các hằng số thời gian, vì vậy phương trình vi phân của hệ điều chỉnh tuyến tính có dạng:

$$X_K \sum_{i=1}^n T_i \frac{d^i x_K}{dt^i} = A \left(X_b + \sum_{l=1}^m T_l \frac{d^l x_b}{dt^l} \right);$$

Giả sử: $i_0 = l_0 = 0$

Trong đó: $T_i = \sqrt{\frac{a_i}{a_0}}$ và $T_l = \sqrt{\frac{b_l}{b_0}}$ là các hằng số thời gian đo bằng đơn vị giây (ký

hiệu là sec hay s).

$A = \frac{b_0}{a_0} = \frac{x_K(\infty)}{x_b(\infty)}$ là hệ số truyền (truyền đạt) của hệ thống.

Khi: $a_0 \neq 0$ và $b_0 \neq 0$, tức là $i_0 = l_0 = 0$.

Nếu giả dụ: $a_0 = 0$ ($i_0 = 1$) hệ số truyền sẽ là:

$A = \frac{b_0}{a_1}$, lúc đó ý nghĩa vật lý của hằng số thời gian cũng đã thay đổi.

6.9.6. Phương pháp tín hiệu khảo sát điển hình (hàm trọng, hàm quá độ)

Nghiệm của phương trình vi phân mô tả hệ điều chỉnh cho ta đặc tính ra là hàm thời gian, ứng với đặc tính vào bất kỳ nào. Tìm nghiệm riêng phương trình không thuần nhất của hệ càng dễ dàng, nếu đặc tính vào (tức là hàm kích thích, hay hàm nhiễu) càng đơn giản. Khi khảo sát một hệ tuyến tính, người ta thường cho tác động ở đầu vào bằng một ký hiệu điển hình với các điều kiện ban đầu bằng không.

Trong thực tiễn các tín hiệu điển hình là:

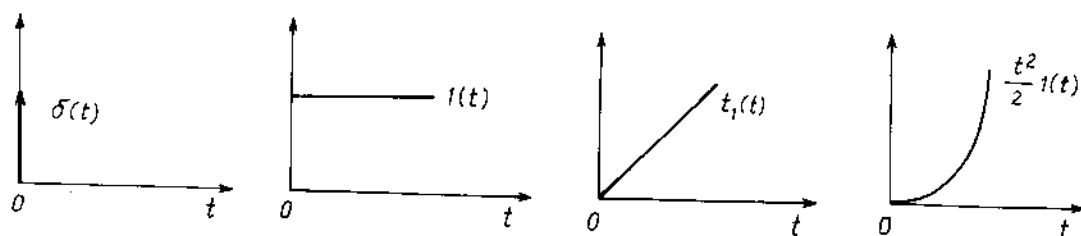
a) Hàm xung đơn vị $\delta(t)$, còn gọi là hàm Denta Dirac.

b) Hàm bước nhảy đơn vị $1(t)$.

c) Hàm bước nhảy đơn vị vận tốc: $t_1(t)$.

d) Hàm bước nhảy đơn vị gia tốc: $\frac{t^2}{2}1(t)$.

Các tín hiệu điển hình này được thể hiện trên hình 6.5.

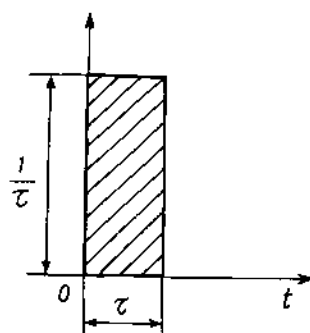


Hình 6.5. Tín hiệu điển hình.

Hàm xung đơn vị là một xung có diện tích một đơn vị, tại thời điểm $t = 0$, trị số của nó bằng ∞ , ở mọi thời điểm khác của trục thời gian hàm này bằng 0.

Nó là trường hợp giới hạn của xung hữu hạn có diện tích bằng một đơn vị (xem hình 6.6), nếu khoảng thời gian của nó: $\frac{1}{T} \rightarrow \infty$.

Trường hợp giới hạn cho ta hàm Denta Dirac. Tính chất quan trọng của hàm này là: $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)dt = 1$.



Hình 6.6. Hàm xung đơn vị.

Đặc tính ra của một hệ thống (hoặc một phần tử) được gọi là hàm trọng nếu đặc tính vào là hàm Denta Dirac $\delta(t)$. Thường ký hiệu hàm trọng phần tử là: $y(t)$, của hệ thống $w(t)$ để đặc trưng cho một hệ, phụ thuộc vào cấu trúc của hệ. Khi đã biết hàm trọng ta có thể kết luận về cấu trúc của hệ thống.

Nếu đặc tính vào của hệ thống là hàm bước nhảy đơn vị $1(t)$ thì đặc tính ra là hàm quá độ cho bước nhảy đơn vị hay gọi tắt là hàm quá độ, ký hiệu là: $V(t)$.

Nếu đặc tính vào của hệ thống là hàm bước nhảy đơn vị vận tốc thì đặc tính ra là hàm quá độ của bước nhảy đơn vị tốc độ, ký hiệu là: $V_1(t)$.

Nếu đặc tính vào của hệ thống là hàm bước nhảy đơn vị gia tốc thì đặc tính ra là hàm quá độ của bước nhảy đơn vị gia tốc, ký hiệu là: $V_{\frac{t^2}{2}}(t)$.

Các hàm quá độ đều đặc trưng cho một hệ thống.

Theo lý thuyết hàm suy rộng, giữa các tín hiệu điển hình tồn tại các quan hệ sau:

$$\delta(t) = \frac{d}{dt} l(t)$$

$$l(t) = \frac{d}{dt} t_1(t)$$

$$t_1(t) = \frac{d}{dt} \frac{t^2}{2} l(t)$$

Ở các tuyến tính giữa hàm quá độ của các tín hiệu điển hình tồn tại các quan hệ sau:

$$y(t) = \frac{dv(t)}{dt}$$

$$V(t) = \frac{dv_1(t)}{dt}$$

$$V_1(t) = \frac{d}{dt} V_{\frac{t}{2}}(t)$$

Trong các hệ vật lý, vì trình tự của nhân - quả (nguyên nhân phải có trước hệ quả) nên ta có:

$$y(t) = V(t) = V_1(t) = V_{\frac{t}{2}} = 0 \text{ nếu } t < 0.$$

6.10. PHƯƠNG PHÁP DÙNG TÍCH PHÂN CHẬP

Như ta đã biết, các hàm trọng và hàm quá độ đều đặc trưng cho một phần tử hay một hệ. Vì vậy, nếu biết các hàm này, người ta có thể xác định đặc tính ra trong trường hợp đặc tính vào là bất kỳ với các điều kiện ban đầu bằng 0.

Trên hình 6.7 minh họa tín hiệu vào là một tập hợp xung chữ nhật $X_b(t)$ có bề rộng là $\Delta\tau$, chiều cao là $X_b(\tau)$ xếp lần lượt bên cạnh nhau theo thứ tự thời gian.

Giá trị xấp xỉ diện tích của một xung chữ nhật nói trên là:

$$X_b(\tau)\Delta\tau$$

Nếu diện tích của xung chữ nhật này là một đơn vị, thì tác động của nó ở đầu ra của phần tử sẽ là hàm trọng $y(t - \tau)$ (với $\Delta\tau$ đủ nhỏ). Song ở đây diện tích của nó chỉ là $X_b(\tau)\Delta\tau$, nên ở thời điểm $t > \tau$ nó cho một đặc tính ra (tỷ lệ thuận với diện tích) là:

$$y(t - \tau)X_b(\tau)\Delta\tau$$

Ta thấy đặc tính ra xuất hiện tại thời điểm t còn chịu ảnh hưởng của các xung chữ nhật xuất hiện trước đó. Vì là hệ tuyến tính nên ta vận dụng nguyên lý xếp chồng để tổng hợp tác động của các xung này và ta sẽ nhận được đặc tính ra tại thời điểm t là:

$$x_{k(t)} \approx \sum_{i=1}^n y(t - \tau_i) x_b(\tau_i) \Delta \tau$$

Thực hiện phép giới hạn $\Delta \tau \rightarrow 0$. Lúc đó bề rộng $\Delta \tau$ của các xung sẽ vô cùng bé và dấu tổng sẽ được thay bằng dấu tích phân nghĩa là:

$$x_{k(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} y(t - \tau) x_b(\tau) d\tau$$

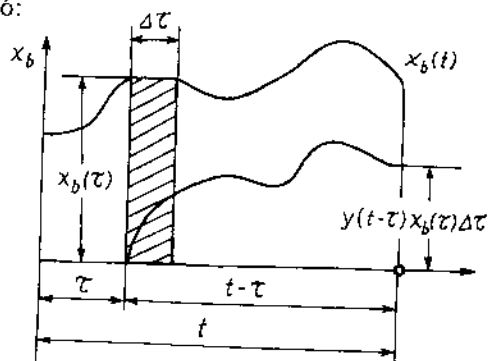
Vì quá trình khảo sát bắt đầu thời điểm $t = t_0 = 0$ (lúc đó mới có tín hiệu vào) và tín hiệu ra ở thời điểm t chịu ảnh hưởng của những tác động có trước đó nên phương trình trên có thể thay bằng không và cận trên bằng t . Và ta có:

$$x_{k(t)} = \int_0^t y(t - \tau) x_b(\tau) d\tau$$

Nếu ta dùng phép thế: $(t - \tau) = 0$, thì ta có:

$$x_{k(t)} = \int_0^t y(0) x_b(1 - 0) d0$$

Ngoài hàm trọng còn có thể dùng hàm quá độ để xác định đặc tính ra của một hệ khi đặc tính vào của một hàm là bất kỳ. Thực vậy một hàm liên tục bất kỳ có thể phân tích thành tổng của nhiều hàm bước nhảy và tổng các tác động ở đầu ra của các hàm bước nhảy này cho ta đặc tính ta cần tìm.



Hình 6.7. Tín hiệu đầu vào là tập hợp xung chữ nhật.

6.11. KHẢO SÁT HỆ ĐIỀU CHỈNH TRONG MIỀN TOÁN TỬ

Bằng phương pháp phương trình vi phân hay tích phân chập, việc khảo sát trong một số trường hợp sẽ gặp khó khăn. Do đó, phương pháp toán tử sẽ giúp chúng ta biến đổi thích hợp để chuyển bài toán phương trình vi phân thành bài toán phương trình đại số, rồi dùng phép biến đổi ngược để được lời giải dưới dạng hàm thời gian và đó là đặc tính của hệ.

Thường có ba dạng toán tử thông dụng là:

Biến đổi Fourier, chuỗi Fourier và tích phân Fourier.

Trong vận dụng kỹ thuật có thể nói, hầu hết hàm tuần hoàn đều có thể khai triển thành chuỗi Fourier, nghĩa là có thể viết thành tổng vô tận của các hàm sin và cosin.

$$f(t, T) = \sum_{k_0}^{\infty} (A_k \cos k\omega_0 t + B_k \sin k\omega_0 t)$$

Ở đó: $f(t, T)$ - hàm tuần hoàn;

T - chu kỳ dao động cơ bản;

k - bậc dao động ($k = 0, 1, 2, \text{v.v.}$);

ω_0 - tần số (vòng) cơ bản, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$.

ω_k - tần số vòng của hài cao, $\omega_k = k\omega_0$.

A_k và B_k - các hệ số Fourier, chúng được xác định bởi các hệ thức sau:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t, T) dt \\ A_k &= \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t, T) \cos k\omega_0 t dt \\ B_k &= \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t, T) \sin k\omega_0 t dt \end{aligned} \right\} \text{(Hệ - I)}$$

Nhờ hệ thức Euler, nhiều khi người ta còn biểu diễn chuỗi Fourier dưới dạng hàm biến phức:

$$\begin{aligned} f(t, T) &= \sum_{k=0}^{\infty} \left[A_k \frac{e^{jk\omega_0 t} + e^{-jk\omega_0 t}}{2} + B_k \frac{e^{jk\omega_0 t} - e^{-jk\omega_0 t}}{2j} \right] = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{A_k - jB_k}{2} e^{jk\omega_0 t} + \frac{A_k + jB_k}{2} e^{-jk\omega_0 t} \right) \end{aligned}$$

Với $j = \sqrt{-1}$. Nếu ở tổng thứ 2 ký hiệu $k = -n$ và trên cơ sở (Hệ - I) ta có nhận xét:

$$A_{-n} = A_k \quad \text{và} \quad B_{-n} = -B_n;$$

Cho nên ta có thể viết:

$$\begin{aligned} f(t, T) &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{A_k - jB_k}{2} e^{jk\omega_0 t} + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A_{-n} - jB_{-n}}{2} e^{jn\omega_0 t} \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{A_k - jB_k}{2} e^{jk\omega_0 t} \end{aligned}$$

Nếu ký hiệu các hệ số phức: $\frac{A_k - jB_k}{2} = C_k$

thì dạng phức của chuỗi Fourier là:

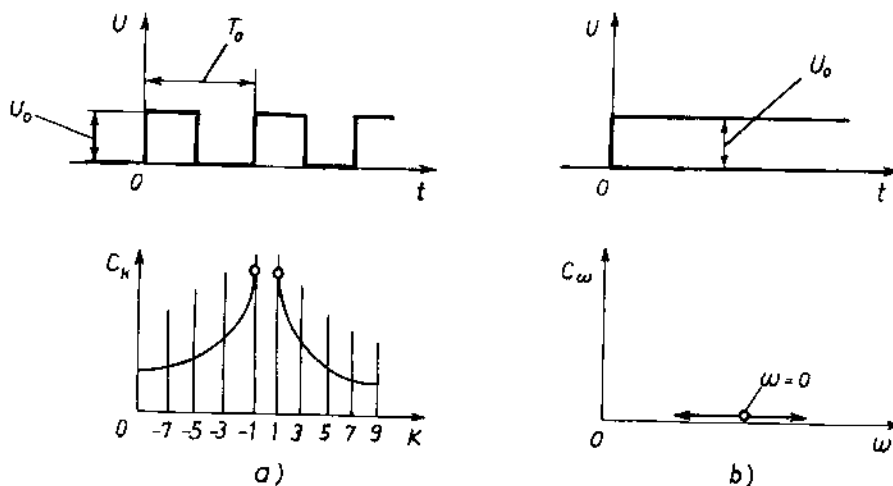
$$f(t, T) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{jk\omega_0 t}$$

Với các hệ số Fourier phức được xác định bởi tích phân:

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{T/2}^{T/2} f(t, T) e^{-jk\omega_0 t} dt \quad (7.1)$$

Nếu biểu diễn môđun C_k theo hàm của $k\omega_0$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) trên đồ thị ta được số biên độ của hàm $f(t, T)$. Các hàm tuần hoàn đều có phổ rời rạc (vì k lấy các giá trị rời rạc). Đồ thị của nó được thể hiện trên hình 6.8.

Trong thực tiễn, tín hiệu vào (đặc tính vào) của một phần tử hay 1 hệ lại không phải là hàm tuần hoàn mà là hàm phi tuần hoàn như hàm bước nhảy. Lúc đó để biểu diễn các tín hiệu này người ta không dùng chuỗi Fourier mà dùng một dạng giới hạn của nó, đó là tích phân Fourier.



Hình 6.8. Hàm tuần hoàn.

Thực vậy, mỗi hàm phi tuần hoàn được quan niệm như một hàm tuần hoàn có chu kỳ lớn vô cùng. Để thực hiện phép lấy giới hạn $T \rightarrow \infty$, chuỗi Fourier còn được biến đổi như sau:

Tần số của các hài cao:

$$\omega_k = k\omega_0 = k \frac{2\pi}{T}$$

$$C_k = C(\omega_k) \Delta\omega_k$$

trong đó $C(\omega_k)$ là mật độ biên độ phức, và

$$\Delta\omega_k = \Delta\left(\frac{2\pi}{T}k\right) = \Delta(\omega_0 k) = \omega_0 \Delta_k = \omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (\text{Vì: } \Delta_k = 1) \text{ với các đại lượng trên.}$$

$$f(t, T) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C(\omega) e^{j\omega_k t} \Delta\omega_k$$

Khi $T \rightarrow \infty$, $\Delta\omega_k \rightarrow d\omega$; dấu tổng sẽ thành dấu tích phân và để đơn giản ký hiệu ta thay $\omega_k = \omega$, ta có:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} C(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

Trong đó, nếu lưu ý đến phương trình (1) ta có:

$$C(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{C_k}{\Delta\omega_k} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T}{2\pi} C_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

Hàm $2\pi C(\omega) = F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$ được gọi là biến đổi Fourier của hàm $f(t)$ và còn được nhiều người ký hiệu là $\Phi[f(t)]$. Ở đây môđun của $\Phi(j\omega)$ cho ta phổ mật độ biên độ. Vậy, hàm tuần hoàn có phổ liên tục như (hình 6.8b) do chênh lệch tần số giữa các hài gần nhau là đại lượng vô cùng bé ($\Delta\omega_k \rightarrow 0$). Cũng có nghĩa, có tần số cơ bản vô cùng bé. Nói cách khác chỉ có thể “tương ứng” dải tần số vi phân $\Delta\omega$ bằng một vi phân biên độ tỷ lệ với “trọng lượng tương đối” của các thành phần tín hiệu thuộc dải tần này.

Nếu biểu diễn tích phân Fourier hay biến đổi ngược Fourier bằng phổ phức, ta có:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

6.12. BIẾN ĐỔI LAPLACE

Nhờ vào biến đổi LAPLACE người ta có thể mở rộng phép biến đổi Fourier ra nhiều hàm thường gặp trong kỹ thuật.

Biết rằng một phép biến đổi tích phân dạng $\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt$ hay phép biến đổi Fourier chỉ có thể tồn tại trong một lớp hàm $f(t)$ rất hẹp, bởi vì điều kiện tồn tại tích phân trên đối với hàm $f(t)$ rất ngặt nghèo. Song nếu dùng một hàm “giảm tốc” dạng $e^{-\sigma t}$ ($\sigma > 0$) nhân với hàm $f(t)$ [hay “khuếch đại” hàm $f(t)$] để được hàm $\varphi(t) = f(t) e^{-\sigma t}$ thì khả năng tìm một tương ứng cho $f(t)$ trong quan hệ gián tiếp, với điều kiện $f(t) \approx 0$ khi $t < 0$ sẽ nhiều hơn.

$$\int_0^{\infty} \varphi(t) dt = \int_0^{\infty} f(t) e^{-\sigma t} dt \quad (6.2)$$

hay
$$F(s) = \int_0^{\infty} \varphi(t) e^{-j\omega t} dt = \int_0^{\infty} f(t) e^{-(\sigma + j\omega)t} dt$$

Thực vậy, bằng trực quan có thể thấy ngay điều đó. Bởi vì một hàm khả tích với hạn tích phân như trên thì điều kiện phải đảm bảo đầu tiên là khi $t \rightarrow \infty$ hàm dưới dấu tích phân phải tiến tới 0.

Ví dụ hàm $t^n = \infty$, nhưng $\sigma \rightarrow 0$; khi $\sigma > 0$.

Hoặc hàm $e^{\alpha t} \rightarrow \infty$ khi $t \rightarrow \infty$ nhưng $te^{\alpha t} e^{-\sigma t} \rightarrow 0$, khi $t \rightarrow \infty$ nếu $\sigma > \alpha$.

Và bao trùm hơn cả vẫn là điều kiện:

$$\int_0^{\infty} |\varphi(t)| dt \leq k$$

Hay tổng quát hơn:

$$\int_0^{\infty} |\varphi(t)| dt \leq k \quad (k \text{ là đại lượng bị chặn}).$$

Nếu xét $t \geq 0$, phù hợp với ý nghĩa vật lý của các quá trình đang khảo sát, thì có thể xây dựng một hàm $\varphi(t)$ thỏa mãn phương trình (6.2) và có biến đổi Fourier.

Đương nhiên, $\varphi(t) = 0$ khi $t < 0$.

Như vậy biến đổi Fourier của $\varphi(t)$ là:

$$\begin{aligned} \Phi(j\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) e^{-j\omega t} dt = \int_0^{\infty} f(t) e^{-(\sigma + j\omega)t} dt \\ &= \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt \end{aligned}$$

Với $S = \sigma + j\omega$ là một phức.

Sự tồn tại của biến đổi Fourier như trên tạo ra một phép tương ứng nhất quán đối với $f(t)$ mà người ta thường gọi là *phép biến đổi LAPLACE*.

Cần nhớ rằng phép biến đổi Laplace là phép ánh xạ tuyến tính, ở đây có thể làm phép biến đổi ngược Laplace suy từ biến đổi ngược Fourier và nó có dạng:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma - j\infty}^{\sigma + j\infty} F(s) e^{st} ds = \mathcal{L}^{-1}[F(s)] \quad (6.3)$$

Ở đây tích phân được thực hiện trong mặt phẳng số phức men theo đường

thẳng $c > \sigma_c$. Vận dụng định lý thặng dư trong lý thuyết phép biến phức thì phương trình (6.3) có thể viết như sau:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} F(s)e^{st} ds = \sum_{\alpha=1}^p \operatorname{Re} F(s) e^{st}$$

Trong đó: P_α là cực của hàm $F(s)$.

Re là ký hiệu thặng dư (tiếng La Tinh là Residum).

Bảng 6.1. Bảng biến đổi Laplace

	Hàm thời gian	Biến đổi Laplace
Định nghĩa của biến đổi Laplace	$f(t)$	$F(s) = \int_0^\infty f(t)e^{-st} dt$
Biến đổi ngược	$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} F(s)e^{st} ds$	$F(s)$
Luận tuyến tính	$cf(t)$	$CF(s)$
Tính xếp chồng	$C_1 f_1(t) + C_2 f_2(t)$	$C_1 F_1(s) + C_2 F_2(s)$
Biến đổi Laplace của đạo hàm $\left[\frac{df(t)}{dt} = f'(t) \right]$	$f'(t)$ $f''(t)$ $f^{(n)}(t)$	$SF(s) - f(0)$ $S^2 F(s) - sf(0) - f'(0)$ $S^n F(s) - S^{n-1} f(0) + \dots$ $sf^{(n-2)}(0) - f^{(n-1)}(0)$
Biến đổi Laplace của tích phân	$\int_0^t f(\tau) d\tau$	$\frac{1}{s} F(s)$
Định lý dịch chuyển	$f(t - \tau)f(t + \tau)$	$e^{-s\tau} F(s)$
Định lý suy giảm	$f(t)e^{-\gamma t}$	$F(s + \gamma)$
Định lý tích phân chập	$f_1(t) * f_2(t)$	$F_1(s) \cdot F_2(s)$
Biến đổi Laplace của hàm tuần hoàn	$f_p(t) = \sum_{n=0}^\infty f_T(t - nT)$ $f_T(t) = f_p(t)$ nếu $0 \leq t < T$ $f_T(t) = 0$ nếu $t \geq T$; $t < 0$	-
Định lý về giới hạn	$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sF(s)$ $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sF(s)$	-

Bảng 6.2. Biến đổi LAPLACE của một số hàm

Hàm thời gian ($t > 0$)	Biến đổi Laplace
$f(t)$	$F(s)$
$\delta(t)$	1
$\delta(t - \tau)$	$e^{-s\tau}$
$1(t)$	$1/s$
$1(t - \tau)$	$1/s e^{-s\tau}$
t	$1/s^2$
$t^n/n!$	$1/(s^{n+1})$
$e^{-\alpha t}$	$1/(s+\alpha)$
$te^{-\alpha t}$	$1/(s+\alpha)^2$
$1 - e^{-\alpha t}$	$\alpha/s(s+\alpha)$
$\sin \alpha t$	$\alpha/(s^2+\alpha^2)$
$\cos \alpha t$	$s/(s^2+\alpha^2)$

6.13. TOÁN TỬ HEAVISIDE

Toán tử Heaviside là toán tử vi phân. Bản thân nó là một lệnh được thể hiện bằng một ký hiệu lấy vi phân (đạo hàm theo thời gian hay bất kỳ một biến nào đấy).

$$P^r = \frac{dr}{dt}, \quad r = 1, 2, \dots$$

Các biểu thức đứng sau nó (nói cách khác, nhân từ phía bên phải) sẽ cho kết quả đạo hàm cấp r theo t của biểu thức đó. Chẳng hạn:

$$P(x+y) = \frac{d}{dt}(x+y) = \frac{dx}{dt} + \frac{dy}{dt} = Px + Py$$

Toán tử Heaviside tuân theo các định luật sau đây:

a) Định luật phân phối.

$$P(x+y) = Px + Py$$

b) Định luật hoán vị.

$$(P+a)(P+b)x = (P+b)(P+a)x = [P^2 + (a+b)P + ab]x.$$

Trong đó: a, b là các hằng số. Thực vậy, nếu khai triển ta có:

$$\begin{aligned}
 (P+a)(P+b)x &= (P+a)\left(\frac{dx}{dt} + bx\right) = \left(\frac{d}{dt} + a\right)\left(\frac{dx}{dt} + bx\right) \\
 &= \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt} + bx\right) + a\left(\frac{dx}{dt} + bx\right) = \frac{d^2x}{dt^2} + (a+b)\frac{dx}{dt} + abx \\
 &= P^2x + (a+b)Px + apx = [p^2 + (a+b)p + ab]x
 \end{aligned}$$

c) Định nghĩa về số mũ (nguyên)

$$P^n P^m x = P^{n+m} x \quad m > 0; n < 0$$

$$P^n \frac{1}{P^m} = P^{n-m} x \quad \text{nếu } m < n$$

Nghịch đảo của toán tử P là phép lấy tích phân.

Xét hàm:

$$x(t) = \int [Pf(t)] dt = \int \frac{df(t)}{dt} dt \int df(t) = f(t) + C$$

Trong đó: C là hằng số bất kỳ.

Đạo hàm cả hai vế ta có:

$$Px(t) = P[f(t) + C] = Pf(t) = PC = Pf(t) = g(t)$$

Do đó:

$$X(t) = \frac{1}{p} g(t) = \int g(t) dt = \int [Pf(t)] dt$$

6.14. HÀM TRUYỀN ĐẠT

Trong kỹ thuật điều chỉnh hệ thức biến đổi Laplace quan trọng bậc nhất là định lý về tích phân chập, nhờ định lý này có thể dễ dàng xác định tích phân chập của hai hàm.

Hãy xét tích phân chập cho trường hợp tín hiệu vào $x_b(t)$ với hàm trọng $y(t)$ ta sẽ có tín hiệu ra là:

$$x_k(t) = \int_0^{\infty} y(t-\tau) X_b(\tau) d\tau$$

Biến đổi Laplace của kết quả này là:

$$X_k(s) = \int_0^{\infty} x_k(t) e^{-st} dt = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} y(t-\tau) x_b(\tau) d\tau e^{-st} dt$$

Người ta chứng minh được rằng có thể thay đổi trình tự tích phân và đưa đến kết quả:

$$X_k(s) = \int_0^{\infty} y(t-\tau) e^{-s(t-\tau)} dt \int_0^{\infty} x_b(\tau) e^{-s\tau} d\tau$$

Dùng phép thế: $0 = t - \tau$ vào thừa số thứ nhất vế phải ta có:

$$X_k(s) = \int_0^{\infty} y(\theta) e^{-s\theta} d\theta \int_0^{\infty} x_b(\tau) e^{-s\tau} d\tau$$

Cần nhớ rằng: do $y(\theta) \equiv 0$, khi $\theta < 0$ nên đáng lẽ cận dưới của tích phân thứ nhất $\rightarrow \tau$ ta lại có thể viết là 0. Do đó, ta thấy ngay thừa số thứ nhất là biến đổi Laplace của hàm trọng được ký hiệu là $Y(s)$ còn thừa số thứ hai là biến đổi Laplace của đặc tính vào được ký hiệu là $X_b(s)$. Từ đó ta có thể viết:

$$X_k(s) = Y(s) X_b(s) \quad (6.4)$$

Từ kết quả trên cho thấy trong miền toán tử S tích nhân chập trở thành tích thông thường và từ phương trình (6.4) ta có thể rút ra công thức:

$$Y(S) = \frac{X_k(S)}{X_b(S)} \quad (6.5)$$

Vậy ta có thể định nghĩa hàm truyền (hàm truyền đạt) như sau:

Hàm truyền đạt là tỷ số giữa biến đổi Laplace của đặc tính ra và đặc tính vào, đồng thời nó cũng chính là biến đổi Laplace của hàm trọng.

Giữa hàm truyền, hàm trọng, hàm quá độ, cụ thể là đạo hàm bậc nhất theo thời gian của chúng tồn tại một quan hệ hữu cơ. Vì vậy, nếu hàm quá độ và hàm trọng đã là đặc trưng của một hệ, thì hàm truyền cũng nhất quán xác định một hệ.

Từ ý nghĩa và mối quan hệ trong điều kiện ban đầu bằng 0, giữa các biến đổi Fourier, Laplace và toán tử Heaviside, hàm truyền cũng có thể xác định trực tiếp từ phương trình vi phân mô tả hệ. Thực vậy, trong trường hợp tổng quát, phương trình vi phân mô tả hệ tuyến tính sẽ có dạng:

$$-T_n \frac{d^n x_k}{dt^n} + \dots + T_1 \frac{dx_k}{dt} + x_k = A \left(x_b + \tau \frac{dx_b}{dt} + \dots + \tau_m \frac{d^m x_b}{dt^m} \right)$$

Biến đổi Laplace với các điều kiện ban đầu bằng không và phương trình này là:

$$T_n S^n X_k(S) + \dots + S X_k(S) + X_k(S) + \dots + \tau_m S^m X_b(S)$$

Từ đây ta cũng rút ra được hàm truyền đạt như công thức (6.5)

$$Y(S) = \frac{X_k(S)}{X_b(S)} = A \frac{1 + S\tau_1 + \dots + S_m \tau_m}{1 + T_1 S + \dots + S^n T_n}$$

Từ một dạng khác của phương trình vi phân mô tả hệ cũng sẽ có kết quả tương tự:

$$Y(S) = \frac{X_k(S)}{X_b(S)} = \frac{b_0 + b_1 S + \dots + b_m S_m}{a_0 + a_1 S + \dots + a_n S_n} \quad (6.6)$$

Công thức (6.6) cho ta thấy mẫu số của hàm truyền có dạng giống phương trình đặc trưng của phương trình vi phân mô tả hệ. Đó là nhận xét quan trọng được ứng

dụng nhiều trong lý thuyết điều chỉnh. Từ các kết quả trên ta có thể phát biểu rằng:

Nếu biết hàm truyền của một hệ, việc khảo sát đó nhiều khi không cần thiết phải viết phương trình vi phân nữa.

3.15. KHẢO SÁT HỆ THỐNG TRONG MIỀN TẦN SỐ (PHƯƠNG PHÁP TẦN SỐ)

Khi nghiên cứu các hệ điều chỉnh, một số khảo sát sẽ đơn giản rất nhiều, nếu chuyển các phép tính toán từ miền thời gian sang miền tần số.

Nếu đã biết hàm tần của các đặc tính ra và vào của một hệ, không cần phải chuyển sang miền thời gian mà vẫn có thể biết được đáng điệu của hệ đó diễn biến trong thời gian, ở đây ta chỉ hạn chế trong phạm vi các tín hiệu có dạng hình sin.

Hàm tần (hay đặc tính tần số biên pha)

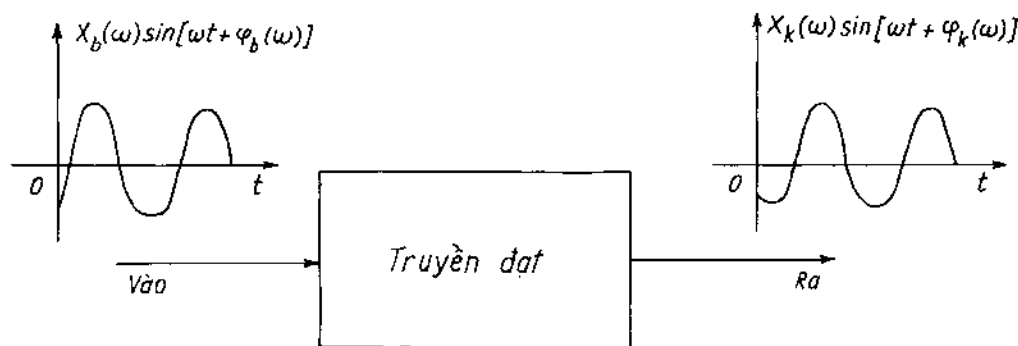
Các hệ điều chỉnh dao động tuần hoàn, nhất là dao động điều hòa, là một phạm trù đặc biệt thu hút nhiều sự quan tâm của nhiều công trình nghiên cứu.

Nếu cho tác dụng ở đầu vào hệ tuyến tính một tín hiệu hình sin với tần số ω thì sau khi đã xác lập được trạng thái tựa dừng, ta sẽ thấy xuất hiện ở đầu ra cũng là tín hiệu hình sin có tần số ω nhưng biên độ và pha của nó sẽ lệch khác đi so với tín hiệu vào.

Nếu ta cho tín hiệu vào dưới dạng hàm mũ như sau:

$$x_b(t) = X_b(\omega) \sin[\omega t + \varphi_b(\omega)] = \text{Im} [X_b(\omega) e^{i\varphi_b(\omega)} e^{j\omega t}] = \text{Im} [X_b(j\omega) e^{j\omega t}].$$

Trong đó $X_b(\omega)$ là biên độ của tín hiệu vào mà ta có thể duy trì với giá trị không đổi, độc lập với tần số. $X_b(\omega)$ là đại lượng thực còn $X_b(j\omega) = X_b e^{i\varphi_b(\omega)}$ là đại lượng phức, không chỉ bao hàm biên độ mà còn cả góc định pha ban đầu và ở thời điểm $t = 0$ sẽ cho ta vectơ phức của tín hiệu vào.



Hình 6.9. Hệ điều chỉnh dao động tuần hoàn.

Dưới tác dụng của tín hiệu vào hình sin tại đầu ra xuất hiện tín hiệu hình sin cùng tần số mà biên độ và góc pha của nó phụ thuộc vào tính chất của phần tử và tần số của tín hiệu vào cũng biểu diễn dưới dạng hàm mũ là:

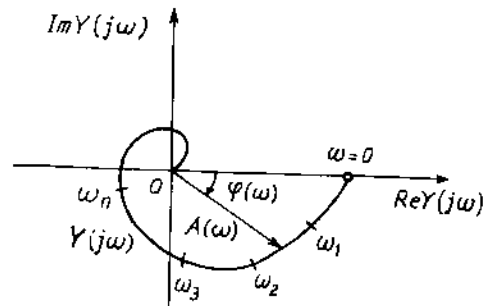
$$x_k = X_k(\omega) \sin [\omega t + \varphi_k(\omega)] = \text{Im}[X_k(\omega) e^{j\varphi_k(\omega)} e^{j\omega t}] = \text{Im}X_k(j\omega) e^{j\omega t}.$$

Trong đó: $X_k(\omega)$ là biên độ của tín hiệu ra, là đại lượng thực và ngay trong trường hợp biên độ tín hiệu vào $X_b(\omega)$ không đổi, nó cũng vẫn là hàm của tần số. Còn $X_k(j\omega) = X_k(\omega) e^{j\varphi_k(\omega)}$ là đại lượng phức và tại thời điểm $t = 0$ cho vectơ số phức của tín hiệu ra.

Lập tỷ số giữa các vectơ số phức của tín hiệu ra và của tín hiệu vào và ký hiệu tỷ số này là $Y(j\omega)$:

$$Y(j\omega) = \frac{X_k(j\omega)e^{j\omega t}}{X_b(j\omega)e^{j\omega t}} = \frac{X_k(j\omega)}{X_b(j\omega)} = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

Đây là hàm tần, hay đặc tính tần số của phần tử truyền. Vì vậy có thể nói: hàm tần là tỷ số các vectơ phức giữa đặc tính ra và đặc tính vào (xem hình 6.10).



Hình 6.10. Đặc tính tần số của phần tử truyền.

Nói cách khác hàm tần cho biết tỷ số biên độ và góc dịch pha của tín hiệu vào ở mọi thời điểm.

Hàm tần là hàm biến phức có môđun và góc pha là hàm của tần số. Cụ thể hơn môđun của hàm là: $A(\omega) = \frac{X_k(\omega)}{X_b(\omega)}$ tỷ số các biên độ, còn góc pha là:

$$\varphi(\omega) = \varphi_k(\omega) - \varphi_b(\omega) \text{ hiệu của các góc dịch pha.}$$

Nếu ký hiệu phần thực và phần ảo của hàm tần lần lượt là $P(\omega)$ và $Q(\omega)$ thì:

$$Y(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) \quad (6.7)$$

$$\text{đồng thời: } \left. \begin{aligned} P(\omega) &= A(\omega) \cos\varphi(\omega) \\ Q(\omega) &= A(\omega) \sin\varphi(\omega) \end{aligned} \right\} \quad (6.8)$$

$$\text{và } \left. \begin{aligned} A(\omega) &= [P^2(\omega) + Q^2(\omega)]^{1/2} \\ \varphi(\omega) &= \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} \end{aligned} \right\} \quad (6.9)$$

Biểu thức của hàm tần có thể xác định từ phương trình vi phân, nếu lưu ý rằng

tín hiệu vào là hàm sin, nghĩa là:

$$x_b(t) = X_b(j\omega)e^{j\omega t}$$

$$x_k(t) = X_k(j\omega)e^{j\omega t}$$

Thế các đại lượng này vào phương trình vi phân mô tả phần tử và giản ước thừa số (chung) $e^{j\omega t}$ đi, ta có:

$$Y(j\omega) = A \frac{1 + (j\omega)\tau_1 + \dots + (j\omega)^m \tau_m^m}{1 + (j\omega)T_1 + \dots + (j\omega)^n T_n^n} \quad (6.10)$$

PHẦN III. CƠ KHÍ HÓA, TỰ ĐỘNG HÓA VÀ DÂY CHUYỀN TỰ ĐỘNG

Chương 7

CƠ SỞ KINH TẾ KỸ THUẬT CỦA TỰ ĐỘNG HÓA

7.1. KHÁI QUÁT CƠ BẢN VỀ CƠ KHÍ HÓA VÀ TỰ ĐỘNG HÓA

7.1.1. Định nghĩa cơ khí hóa và tự động hóa

Cơ khí hóa là sự thay thế sức lực của con người bằng máy móc để thực hiện nhanh chóng những công việc nặng nhọc.

Tự động hóa là sự thay thế các thành tựu khoa học của nhiều ngành để nghiên cứu thiết kế các qui trình công nghệ và chế tạo các phương tiện sản xuất tự hoạt động, bảo đảm không ngừng tăng năng suất lao động trên cơ sở thực hiện quá trình sản xuất không có sự tham gia trực tiếp của con người.

7.1.2. Tầm quan trọng của việc cơ khí hóa và tự động hóa

Chúng ta đã biết, tư liệu sản xuất được thể hiện dưới dạng: năng lượng, vật liệu và công cụ sản xuất. Trong đó công cụ sản xuất có tác dụng quyết định nhất trong quá trình sản xuất ra của cải vật chất và nó cũng là thước đo mức độ phát triển sản xuất.

Nhờ cơ khí hóa và tự động hóa con người đã làm thay đổi hẳn tính chất lao động, cải thiện điều kiện làm việc của công nhân nhất là ở những khâu nặng nhọc, độc hại, nguy hiểm, nhằm rút ngắn thời gian lao động của công nhân.

7.1.3. Nguyên tắc ứng dụng cơ khí hóa và tự động hóa

Ở các nước tiên tiến trên thế giới hiện nay, ngành chế tạo máy đóng vai trò quan trọng trong việc thiết kế, chế tạo hàng loạt các dây chuyền thiết bị tự động cho các ngành như: dệt, in, thực phẩm, hóa chất, năng lượng, khai thác mỏ, luyện kim, giao thông vận tải, thông tin, v.v... Vậy muốn ứng dụng cơ khí hóa và tự động hóa

cần phải đáp ứng các yêu cầu cơ bản sau:

- * Đòi hỏi công suất lớn, mà sức con người thì có hạn.

- * Đòi hỏi tốc độ cao, mà phản ứng sinh lý chậm chạp của con người không thể nào đáp ứng được.

- * Phương tiện, điều kiện hiện đại, một người có thể điều khiển nhiều máy hoạt động đồng thời và có khả năng thay đổi một cách linh hoạt các chế độ công tác tối ưu mà con người không thể tiến hành được.

- * Tất cả ba yếu tố trên, cuối cùng vẫn phải đạt cho được yêu cầu thứ tư là giảm được thời gian lao động, tăng năng suất, giảm được giá thành, và hiệu quả kinh tế phải đạt được cao nhất.

- * Trong một nền sản xuất lạc hậu đi lên sản xuất hiện đại thì việc cơ khí hóa nên xem là một bước đệm trên con đường tiến lên tự động hóa.

7.1.4. Sự ra đời của dây chuyền thiết bị tự động

Mọi người đều phải công nhận rằng dây chuyền thiết bị tự động là kết tinh, tập hợp và thừa hưởng tất cả sự phát triển của các ngành như: cơ khí chế tạo, luyện kim, khí thủy lực, điện, điện cơ, điện tử, tin học, v.v... Khái quát có thể tóm tắt sơ lược sự phát triển đó như sau:

- * Từ những chiếc đồng hồ và trò chơi tự động vào năm 1880 ở Đức, Anh, Mỹ đã chế tạo ra phôi các máy tiện tự động Revonve, sử dụng phôi thanh. Sau 7 năm, các nước này lại cho ra đời máy tiện tự động dọc định hình và các máy tiện tự động nhiều trục chính.

- * Năm 1912 trở đi các dây chuyền thiết bị tự động ra đời chủ yếu trong giai đoạn này là sự ghép nối các máy công cụ nửa tự động và tự động tổ hợp. Dùng trong sản xuất hàng loạt lớn hay hàng khối để gia công nhiều chi tiết khác nhau, đạt hiệu quả kinh tế hơn hẳn các thời kỳ trước đó.

- * Năm 1930 trở đi các dây chuyền thiết bị tự động đã ra đời chủ yếu trong giai đoạn này là các đường dây phân đoạn, ghép nối từ các máy tổ hợp để gia công chi tiết lớn, nặng, khối lượng gia công nhiều như: bloc xilanh, vỏ các hộp giảm tốc, các đường dây sản xuất đạn, mìn, lắp ráp một số bộ phận hoàn chỉnh của ô tô, xe tăng, máy bay, v.v...

- * Sau chiến tranh thế giới lần thứ II (kết thúc năm 1945) trở đi do sự chạy đua giữa hai phe: xã hội chủ nghĩa và tư bản chủ nghĩa nên đã ra đời hàng loạt các dây chuyền tự động. Nhờ nguyên tắc kế thừa, mỗi khi có phát minh mới nhất thiết phải ưu tiên cho sản xuất quốc phòng; lúc này dây chuyền cũ lại chuyển ra khu vực sản

xuất dân dụng. Các nước tiên tiến mỗi khi phát minh ra dây chuyền mới lại bán các dây chuyền cũ cho các nước lạc hậu nghèo hơn. Việc mua bán các phát minh ngày càng phổ biến, điển hình nhất là Mỹ và Nhật.

* Tất cả những nguyên nhân trên đã làm bùng nổ việc xuất hiện hàng loạt các dây chuyền thiết bị tự động cho tất cả các ngành trên thế giới.

* Trong ngành chế tạo máy đã xuất hiện các dây chuyền ghép nối các máy tự động chuyên dùng với các máy tự động vạn năng.

* Vào năm 1950 xuất hiện các máy tự động điều khiển theo chương trình ở Mỹ và Nhật. Sau 5 năm có dây chuyền ghép nối các máy điều khiển theo chương trình đồng thời bắt đầu xuất hiện các trung tâm gia công đơn giản.

* Năm 1960 các máy tự động điều khiển theo chương trình số CNC (Computer Numerical Control) dùng để điều khiển cấp dao tự động và thực hiện nhiều loại nguyên công khác nhau sau một lần kẹp phôi.

* Trong thời gian này xuất hiện các đường dây tự động toàn phần để chế tạo, lắp ráp và bao gói các loại vòng bi, đồng thời xuất hiện tay máy và người máy sơ khai.

* Từ năm 1975 đến nay các nước có trình độ công nghiệp phát triển, đáng chú ý nhất là Mỹ và Nhật đã xuất hiện các phân xưởng tự động chủ yếu dùng tay máy và người máy để lắp ráp ô tô và sản phẩm điện tử, v.v...

7.1.5. Tình hình cơ khí hóa và tự động hóa ở nước ta

Ngành cơ khí chế tạo ở nước ta, dường như không lớn lên do tự bản thân phát triển, mà bằng sự tranh thủ viện trợ thiết bị lẻ tẻ từ nhiều nước trong nhiều năm trước đây. Vì thế ở nhiều nơi tình trạng có thiết bị mà không có công nghệ truyền thống sản xuất mang tính không chủ động thiếu kế hoạch, không quan tâm đến hiệu quả kinh tế, luôn luôn chờ nhà nước bù lỗ đã xuất hiện từ khi xí nghiệp ra đời. Những người làm công tác khoa học kỹ thuật cần nhớ rằng: khoa học kỹ thuật càng hiện đại thì các môn khoa học riêng biệt càng phải tác động xen kẽ với nhau càng nhiều. Do đó chúng ta muốn có dây chuyền thiết bị tự động hiện đại ra đời thì nhất thiết phải có sự giao phối của nhiều môn khoa học, ngoài những môn cổ điển trong ngành chế tạo máy như: máy, dao, công nghệ, thủy khí, điện, điện tử, v.v... còn có sự tác động của các thành tựu về vi xử lý, tin học, vật liệu mới, vật lý kỹ thuật, v.v...

Cần mở rộng sự hợp tác giữa các xí nghiệp trong nước với nhau, giữa các xí nghiệp với các trường đại học, trung tâm, viện nghiên cứu. Nếu cần kể cả hợp tác của các đơn vị trong nước với nước ngoài và phải xem vấn đề hợp tác là nguyên tắc sống còn trong con đường phát triển đi lên.

* Trước sự đòi hỏi của con người, muốn thay đổi liên tục về nội dung, mẫu mã, hình thức cho các sản phẩm làm ra được chiếm lĩnh thị trường nhanh nhất, dễ dàng đánh bại được đối thủ của mình nên đã xuất hiện hình thức tổ chức sản xuất hiện đại nhất, đó là hệ sản xuất linh hoạt, nó rất phù hợp với quy mô sản xuất nhỏ và vừa.

Hiện nay người ta đã dùng kiến thức tin học và vi xử lý để điều khiển các dây chuyền thiết bị tự động hiện đại bằng cách số hóa với các hệ NC, CNC hay rôbot hóa để hình thành hệ sản xuất linh hoạt FMS (Flexible Manufacturing Systems) hoặc máy tính hóa với các hệ CAD (Computer Aided Design) và CAM (Computer Aided Manufacturing).

7.2. NHỮNG LUẬN CHỨNG KỸ THUẬT KHI TRIỂN KHAI TỰ ĐỘNG HÓA TRONG GIA CÔNG CƠ KHÍ

7.2.1. Phương pháp tăng năng suất lao động

Năng suất lao động là số sản phẩm làm ra do một người công nhân trên một đơn vị thời gian. Năng suất lao động là chỉ tiêu kinh tế quan trọng nhất để đánh giá bất kỳ quy trình sản xuất nào.

Lao động xã hội bao gồm:

a) Lao động hiện tại (lao động sống) tức là lao động mà công nhân trực tiếp tham gia sản xuất ra sản phẩm.

b) Lao động quá khứ (lao động vật hóa) tức là lao động của công nhân trước kia dùng vào việc chế tạo các phương tiện sản phẩm. Lao động quá khứ thể hiện dưới dạng thiết bị, vật tư, nhà cửa, v.v...

Khi xác định năng suất lao động phải tính đến lao động sống và lao động quá khứ. Một nền sản xuất được gọi là tiến bộ khi nào tổng số lao động xã hội dùng để sản xuất ra một sản phẩm ngày càng giảm. Với ý nghĩa đó, tăng năng suất lao động tức là vừa phải giảm được thành phần lao động sống, vừa giảm được tổng số lao động xã hội để làm ra một sản phẩm. Nhờ đó trong một đơn vị thời gian số sản phẩm một người làm ra tăng lên và giá thành sản phẩm hạ.

Để tăng năng suất lao động, giảm giá thành sản phẩm, trong thực tế có nhiều phương pháp:

- a) Thành phần lao động sống không đổi, thành phần lao động quá khứ giảm.
- b) Thành phần lao động sống và thành phần lao động quá khứ đều giảm.
- c) Thành phần lao động sống giảm, thành phần lao động quá khứ không thay đổi.

d) Thành phần lao động sống giảm, thành phần lao động quá khứ tăng.

Tóm lại: tăng năng suất lao động có nghĩa là giảm thành phần lao động sống và tăng thành phần lao động quá khứ, nhưng làm thế nào để tổng số lao động trong sản phẩm giảm xuống, tức là giảm số lượng lao động sống nhiều hơn là tăng số lượng lao động quá khứ. Đó là phương hướng chung, phương pháp cơ bản để tăng năng suất lao động.

7.2.2. Mục đích của cơ khí hóa và tự động hóa

Cơ khí hóa và tự động hóa các quá trình sản xuất là phương sách tốt nhất để giải quyết vấn đề năng suất lao động. Tất nhiên để thiết kế chế tạo các phương tiện tự động hóa phải đầu tư nhiều công, nhiều của, v.v..., do đó chi phí sẽ tăng, nghĩa là thành phần lao động quá khứ tăng lên. Mặt khác, khi qui trình công nghệ đã tốt, năng suất của thiết bị đã cao thì mới có thể giảm thành phần lao động sống đến mức tối đa, mới tăng không ngừng năng suất lao động.

Như vậy, khi tự động hóa các quá trình sản xuất, năng suất lao động của công nhân càng nâng cao là nhờ năng suất của máy móc ngày một tăng. Quá trình sản xuất đó không cần sự điều khiển trực tiếp của con người, cho nên mỗi công nhân có thể đứng nhiều máy. Một vấn đề nữa đặt ra là hướng tự động hóa phải như thế nào để giảm không ngừng thành phần lao động sống? Phải chăng chỉ tăng số máy mà công nhân có thể phục vụ?

Nếu tự động hóa chỉ đơn thuần làm tăng một số máy mà mỗi công nhân có thể phục vụ thì đến một lúc nào đó mức giảm thành phần lao động sống sẽ bị hạn chế và không thể bù lại mức tăng thành phần lao động quá khứ. Do đó, tổng số lao động trong sản phẩm không giảm và năng suất lao động không tăng. Ví dụ sau đây sẽ làm sáng tỏ điều đó.

Giả sử, lúc chưa tự động hóa, một công nhân đứng một máy và 100 công nhân đứng 100 máy. Sau đó nâng cao dần mức tự động hóa và mỗi công nhân lần lượt có thể đứng 2, 10, 20, 50 và cuối cùng là 100 máy. Mức giảm lao động sống tương ứng sẽ là: 50, 90, 95, 98, 99%. Như vậy, khi một công nhân đứng hai máy sẽ giảm được mức lao động sống là 50% so với lần đầu. Nhưng khi một công nhân đứng 10 máy, mức giảm so với lần trước chỉ còn 40%; tiếp theo nữa mức giảm chỉ còn 5% và 1% (xem bảng 7.1). Nghĩa là trình độ tự động hóa càng tăng thì mức độ tiết kiệm lao động sống so với lần trước càng giảm. Trong lúc đó, những phí tổn (lao động quá khứ) để nâng cao trình độ tự động hóa so với lần trước lại tăng rất nhanh, vì khi trình độ tự động càng cao thì những khó khăn về kỹ thuật càng lớn, thiết bị càng phức tạp, tổn thất về năng suất càng tăng, vốn đầu tư càng nhiều, v.v...

Mức động tự động hóa từ giai đoạn I sang giai đoạn II (bảng 7.1) đơn giản nhất, nhưng tiết kiệm lao động sống lại nhiều nhất (50 công nhân). Từ giai đoạn V qua giai đoạn VI - chi phí cho tự động hóa nhiều nhất, nhiều gấp bội so với giai đoạn đầu, nhưng tiết kiệm lao động sống lại quá ít (chỉ có một công nhân).

Bảng 7.1.

Giai đoạn	Số máy Z một công nhân có thể phục vụ	Số công nhân cần để phục vụ 100 máy	Mức giảm lao động hiện tại so với lần đầu tiên (%)	Mức giảm lao động hiện tại so với lần trước đó (%)
I	1	100	0	-
II	2	50	50	50
III	10	10	90	40
IV	20	5	95	5
V	50	2	98	3
VI	100	1	99	1

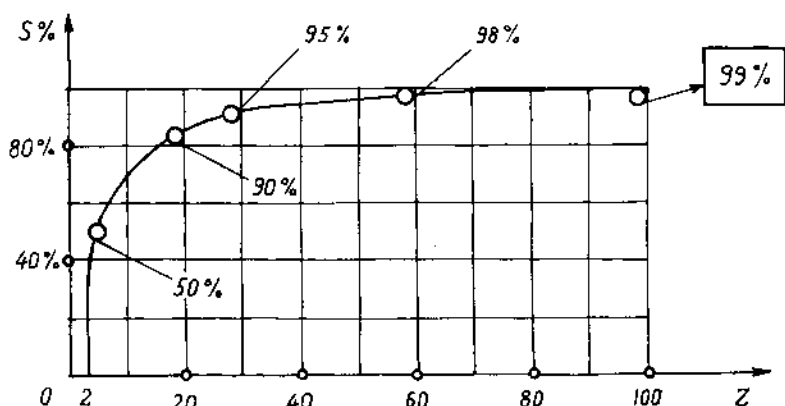
Như thế, tự động hóa chỉ theo chiều hướng này thì lúc đầu năng suất lao động tăng nhưng đến một lúc nào đó tổng số lao động (sống và quá khứ) trong mỗi sản phẩm không thể giảm và năng suất lao động chung không tăng.

Đường cong trên hình 7.1 chỉ rõ: khi tăng số máy Z mà mỗi công nhân có thể đứng, mức giảm lao động sống S giảm dần và cuối cùng tiến đến giới hạn của nó.

Tuy nhiên, tăng năng suất lao động bằng cách tăng số máy

do mỗi công nhân phục vụ vẫn là phương hướng phổ biến, vì có thể áp dụng tự động hóa để cải tiến và sử dụng tốt hơn những máy móc có sẵn.

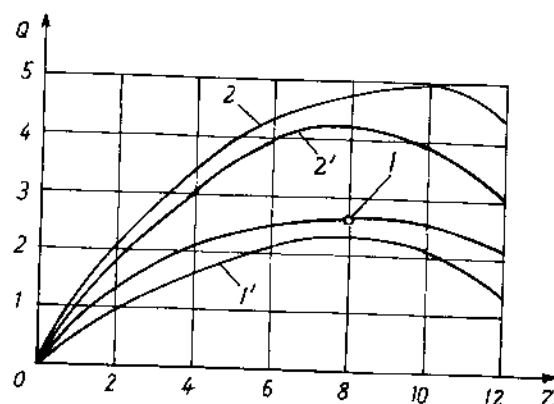
Để tăng không ngừng năng suất lao động, tự động hóa không chỉ nhằm tăng số máy mỗi công nhân có thể phục vụ, mà phải tăng năng suất qui trình công nghệ của



Hình 7.1. Quan hệ giữa số máy Z và lao động sống S.

thiết bị, cần tìm những qui trình công nghệ mới và máy móc hiện đại có năng suất cao.

Đường cong 1 (hình 7.2) biểu thị mức tăng năng suất lao động khi tăng số máy Z do mỗi người công nhân có thể phục vụ. Đường cong 1' chỉ mức tăng năng suất lao động trong trường hợp trên, nhưng có kể đến các tổn phí để nâng cao trình độ tự động hóa. Đường cong 1' cho thấy rằng khi tăng Z đến mức độ nào đó thì năng suất lao động bị giảm (trên hình 7.2 khi $Z > 6$). Đường cong 2



Hình 7.2. Quan hệ giữa số máy Z và năng suất lao động.

chỉ mức tăng năng suất lao động cao hẳn, nếu ngoài việc tăng số máy Z mà mỗi công nhân có thể phục vụ, còn tăng năng suất bản thân của mỗi máy nói trên. Đường cong 2' có ý nghĩa giống như đường cong 1', nhưng năng suất cao hơn. Từ đó rút ra kết luận:

Yếu tố quyết định bậc nhất để tăng năng suất lao động là tăng năng suất của các phương tiện sản xuất, cụ thể là phải chế tạo các phương tiện sản xuất mà mức tăng năng suất lao động của nó vượt hẳn mọi phí tổn lao động khác. Các đường cong 1, 2 còn đưa lại một kết quả thực tế là nên áp dụng tự động hóa trước tiên vào những thiết bị, những quy trình công nghệ có năng suất cao hơn, tiên tiến hơn để đạt hiệu quả kinh tế tốt nhất.

7.3. TÍNH TOÁN NĂNG SUẤT LAO ĐỘNG

Thời gian gia công xong một sản phẩm (thời gian chu kỳ T) được tính theo công thức sau, nếu bỏ qua mọi tổn thất:

$$T = t_{lv} + t_{ck} \text{ [phút];}$$

t_{lv} - thời gian làm việc (thời gian cắt gọt kim loại) [phút];

t_{ck} - thời gian chạy không, gồm có thời gian dụng cụ tiến vào, lùi ra, đóng mở các cơ cấu máy, v.v...

Nếu gọi Q là năng suất lao động thì ta có công thức:

$$Q = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_{lv} + t_{ck}} \text{ [chi tiết/phút];} \quad (7.1)$$

$$\text{Nếu } t_{ck} = 0 \text{ thì năng suất } Q = \frac{1}{t_{lv}} = k \quad (7.2)$$

k - năng suất lý tưởng vì không có hành trình chạy không.

$$\text{Thay (7.2) vào (7.1) ta có: } Q = \frac{k}{1 + kt_{ck}} = k \cdot \frac{1}{1 + kt_{ck}} = k\eta \quad (7.3)$$

Trong đó $\eta = \frac{1}{1 + kt_{ck}}$ gọi là hệ số năng suất của máy, nó xác định mức độ sử dụng máy có hiệu quả hay không:

$$\text{Từ (7.3) ta có } \eta = \frac{Q}{k} = \frac{1}{T} : \frac{1}{t_{lv}} = \frac{t_{lv}}{T}$$

Tỷ lệ $\frac{t_{lv}}{T}$ đôi khi còn gọi là mức độ gia công liên tục của quá trình công nghệ.

Giá trị của nó trùng với hệ số năng suất η của máy tự động.

Từ công thức (7.3) ta thấy năng suất lao động Q phụ thuộc vào năng suất công nghệ k và hệ số năng suất η . Vậy muốn tăng Q phải không ngừng tăng k và η nghĩa là phải giảm t_{lv} và t_{ck} . Nếu chỉ giảm một thành phần nào đó, còn thành phần kia vẫn giữ như cũ thì năng suất Q sẽ tiến đến một giới hạn nhất định.

Hai trường hợp sau đây cho thấy năng suất Q tiến đến giới hạn:

$$Q_{\max} = \lim_{t_{ck} \rightarrow 0} \frac{k}{1 + kt_{ck}} = k(\text{ct/ph})$$

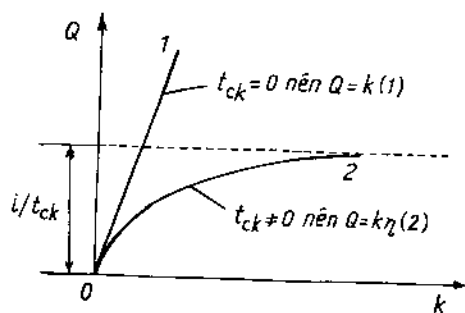
$$Q_{\max} = \lim_{\substack{t_{lv} \rightarrow 0 \\ k \rightarrow \infty}} \frac{k}{1 + kt_{ck}} = \frac{1}{t_{ck}}(\text{ct/ph})$$

Đường 1 trên hình 7.3 chỉ ra rằng khi $t_{ck} = 0$ thì $Q = k$ (năng suất lý tưởng). Nếu $t_{ck} \neq 0$ ta có đường năng suất thực tế 2. Trong trường hợp này dù có tăng k đến đâu đi nữa thì năng suất Q vẫn tiến đến giới hạn $\frac{1}{t_{ck}}$, chứ không tăng tỷ lệ với k . Có

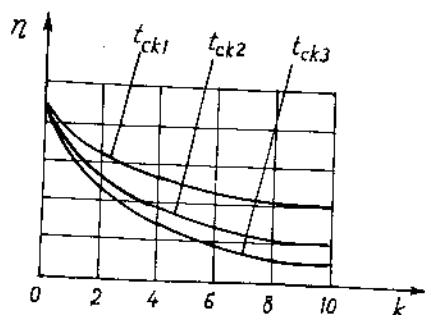
hiện tượng như vậy là vì khi tăng k thì trị số của $\eta = \frac{1}{1 + kt_{ck}}$ lại giảm. Các đường cong trên hình 7.4 cho ta mối quan hệ giữa k và η .

Để làm sáng tỏ ta xét ví dụ sau:

Cần gia công một chi tiết hình trụ có chiều dài $L = 100$ mm, với lượng chạy dao $S = 0,1$ mm/vòng. Thời gian chạy không: $t_{ck} = 1$ phút; số vòng quay trục chính $n_{tc} = 1000$ vg/ph.



Hình 7.3. Quan hệ giữa năng suất Q và năng suất công nghệ k .



Hình 7.4. Quan hệ giữa k và η .

Bài giải

Số vòng quay cần thiết để gia công là:

$$n = \frac{L}{S} = \frac{100}{0,1} = 1000 \text{ vg}$$

Năng suất công nghệ: $k = \frac{1}{t_{lv}} = \frac{n_{te}}{n} = 1 \text{ [ct/ph]}$.

Hệ số năng suất: $\eta = \frac{1}{1 + kt_{ck}} = \frac{1}{1 + 1 \cdot 1} = 0,5$.

Năng suất của máy: $Q = k\eta = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ [ct/ph]}$.

Giả sử nhờ những phương tiện rất đặc biệt có thể nâng $k = 50 \text{ [ct/ph]}$.

Thì hệ số năng suất: $\eta = \frac{1}{1 + 50 \cdot 1} = 0,02$

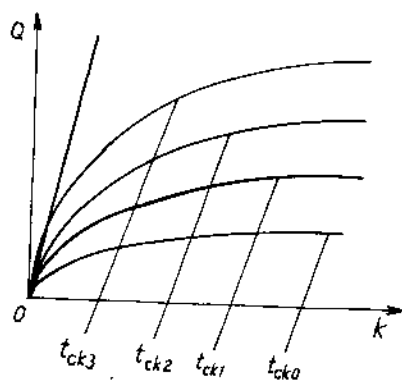
và năng suất $Q = k \cdot \eta = 50 \cdot 0,02 = 1 \text{ [ct/ph]}$.

Từ đây ta có thể rút ra kết luận:

Để tăng năng suất công nghệ lên 50 lần, cần những phí tổn về kỹ thuật và đầu tư rất lớn lao, nhưng năng suất thực tế chỉ tăng có 2 lần.

Vậy muốn không ngừng tăng năng suất lao động ta phải đồng thời giảm thời gian làm việc t_{lv} và thời gian chạy không t_{ck} để tăng năng suất công nghệ k .

Lịch sử phát triển của máy tự động và đường dây tự động nhờ vào tự động hóa được thể hiện trên hình 7.5.



Hình 7.5. Quan hệ giữa năng suất lao động Q và năng suất công nghệ k khi có thời gian chạy không t_{ck} .

Sau khi chế tạo máy tự động hay đường dây tự động đầu tiên người ta cố vận dụng khả năng của chúng bằng cách tăng cường độ gia công tức là tăng k . Nhưng đến một lúc nào đó năng suất hầu như không tăng mặc dù tăng k . Để nâng cao năng suất hơn nữa, cần có loại máy tự động hay đường dây tự động mới có thời gian chạy không bé hơn, hoặc với quy trình công nghệ mới tốt hơn và cứ thế các máy mới, các đường dây tự động mới kế tiếp nhau xuất hiện và các đường cong cứ thế nâng cao dần. Năng suất tăng ở mỗi đường cong là do tăng k hay giảm t_{lv} . Năng suất nhảy vọt từ đường cong này sang đường cong khác, đôi khi nhờ có quy trình công nghệ mới nên t_{lv} và t_{ck} đều giảm, nhưng chủ yếu là do giảm t_{ck} , cho nên nội dung chủ yếu của tự động hóa là *giảm thời gian chạy không*, vì nó có tác dụng tăng nhanh năng suất.

7.4. NHIỆM VỤ CỦA TỰ ĐỘNG HÓA

7.4.1. Tổn thất ngoài chu kỳ của một sản phẩm

Theo công thức (7.3), ta chỉ tính tổn thất trong chu kỳ, nghĩa là chỉ quan tâm đến thời gian làm việc và thời gian chạy không của máy. Nhưng trong thực tế, tổn thất ngoài chu kỳ đóng một vai trò rất quan trọng, nó phụ thuộc vào trình độ quản lý, ý thức của công nhân (phụ thuộc vào mức lương mà công nhân được hưởng, v.v...), ví dụ: thay đổi hay điều chỉnh lại dụng cụ bị mòn, sửa chữa điều chỉnh lại các cơ cấu hay bộ phận của máy, đường dây, chủng loại và chất lượng phối đưa vào sản xuất, kiểm tra chất lượng sản phẩm, kỹ thuật lao động, v.v... Cường độ làm việc của công nhân càng căng thẳng thì tổn thất về chu kỳ càng lớn...

Vậy năng suất của máy hay đường dây tính tổng quát là:

$$Q = \frac{1}{t_{lv} + t_{ck} + t_{tt}} = \frac{R}{1 + k\sum t_{ph}}$$

Trong đó: $t_{tt} = t_{tt1} + t_{tt2} + \dots + t_{tt6}$ - thời gian tổn thất ngoài chu kỳ.

$\sum t_{ph} = t_{ck} + t_{tt}$ - tổng số thời gian phụ (tổn thất trong và ngoài chu kỳ).

Kết luận: *Nhiệm vụ của tự động hóa là giảm tổn thất ngoài chu kỳ đến mức tối thiểu.*

Marx nói: *"Vấn đề tiết kiệm nói chung là vấn đề tiết kiệm thời gian"*.

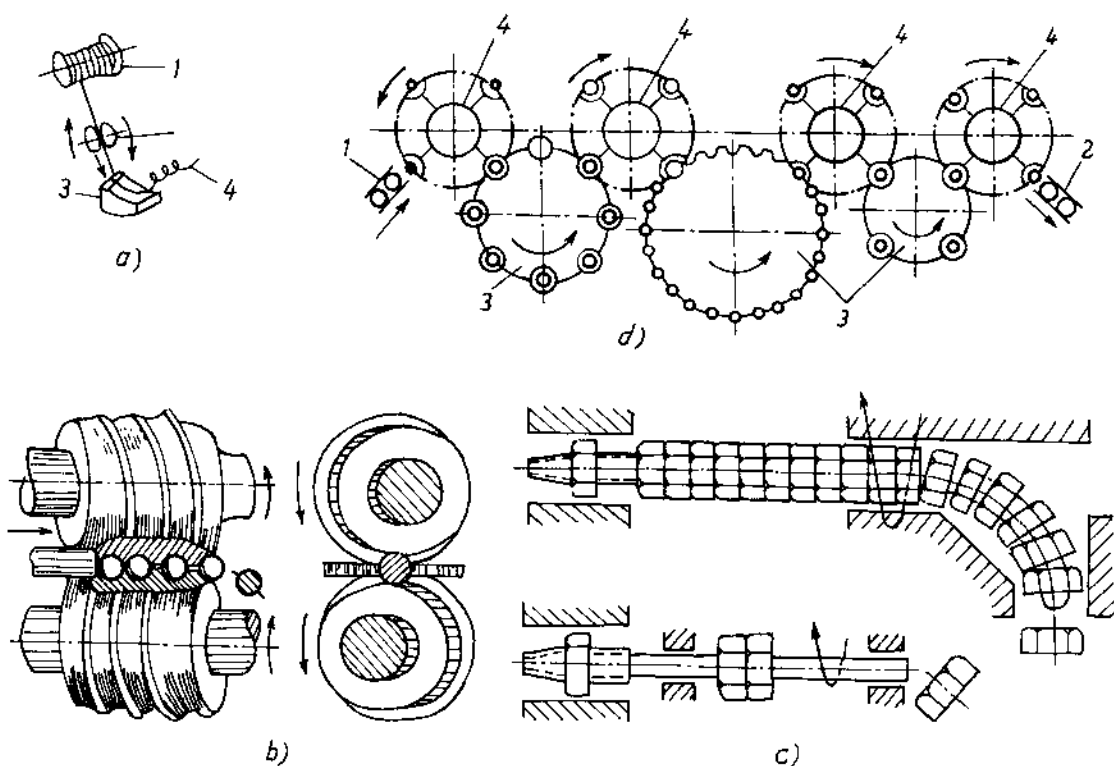
Qua nhiều năm theo dõi, phân tích, các nước tiên tiến trên thế giới đã đi đến kết luận là: trong mọi lĩnh vực sản xuất thì năng suất lao động phải phân ra 6 loại tổn thất cơ bản và được sắp xếp từ loại nhiều nhất đến loại ít nhất và tổn thất loại I là tổn thất trong chu kỳ, các loại còn lại là tổn thất ngoài chu kỳ.

7.4.2. Tổn thất loại I và nhiệm vụ của tự động hóa chu kỳ

Tổn thất loại I là những tổn thất liên quan đến các chuyển động chạy không, không trùng với các chuyển động làm việc trong chu kỳ gia công một sản phẩm, tổn thất này bao gồm các thời gian: lắp, kẹp và tháo phôi, đổi vị trí của phôi, đóng, mở, tiến, lùi các cơ cấu của máy, v.v...

Để giảm tổn thất này phải tự động hóa chu kỳ gia công bằng cách thiết kế chế tạo những máy hay những hệ thống máy tự động có thời gian chạy không (không trùng với thời gian làm việc) bé nhất, hay tốt hơn là bằng không. Máy tốt nhất, hiện đại nhất khi: $t_{ct} = 0$; $Q = k$; $\eta = 1$.

Chẳng hạn, để đạt năng suất 1500 vòng ổ bi trong 1 ca cần 44 máy tiện vạn năng và 44 công nhân; nếu dùng máy tiện Revolve cần 28 máy và 28 công nhân; nếu dùng máy tự động 1 trục cần 5 máy, 1 công nhân; nếu dùng máy tự động nhiều trục cần 2 máy 1 công nhân. Ta thấy năng suất tăng dần vì thời gian chạy không giảm dần.



Hình 7.6. Các loại máy cuốn.

Muốn không còn thời gian chạy không nữa, cần chế tạo thiết kế các máy tự động gia công liên tục. Trong thực tế sản xuất đã có máy và hệ thống máy như vậy, như máy làm bánh kẹo, máy in kiểu rôto, máy kéo sợi, máy kéo kính, v.v... trong công nghiệp nhẹ. Trong lĩnh vực gia công kim loại như, máy cuốn dây lò xo theo

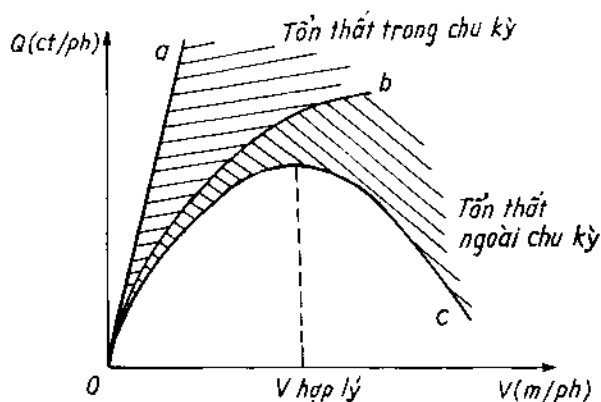
nguyên tắc không lõi (hình 7.6a), máy cán bi (hình 7.6b), máy ren mũ ốc với tarô đuôi cong (hình 7.6c), dây chuyền tự động kiểu rôto Kochkin (hình 7.6d); dây chuyền tự động hàn ống thép cỡ nhỏ, v. v...

Loại đường dây tự động gia công liên tục là hình thức hóa tự động cao nhất. Quá trình gia công liên tục cho phép sử dụng tốc độ cao vì các cơ cấu không chuyển động tịnh tiến gián đoạn, không bị quán tính hạn chế, áp dụng tốt trong trường hợp năng suất công nghệ cao.

7.4.3. Tổn thất loại II và nhiệm vụ tự động hóa thay thế, điều chỉnh dụng cụ

Tổn thất loại II là những tổn thất liên quan đến dụng cụ gia công, bao gồm thời gian thay thế, lắp đặt, điều chỉnh, giao nhận, mài sửa dụng cụ, chờ đợi thợ điều chỉnh, v.v...

Loại tổn thất ngoài chu kỳ này rất khó khắc phục. Máy tự động và điều chỉnh tự động có rất nhiều dụng cụ gia công đồng thời và liên tục, khi chúng bị mòn thì phải thay hoặc phải điều chỉnh. Mỗi lần thay hay điều chỉnh một dụng cụ là cả máy hoặc cả đường dây phải ngừng hoạt động, năng suất bị tổn hao nhiều.



Hình 7.7. Tổn thất trong chu kỳ và ngoài chu kỳ.

Để giảm tổn thất loại này cần giải quyết vấn đề theo nhiều khía cạnh khác nhau. Về phương tiện cắt gọt phải làm thế nào để lưỡi dao lâu mòn; chọn vật liệu tốt để làm dao; áp dụng chế độ cắt gọt hợp lý, v.v...

Chế độ cắt gọt chủ yếu là chế độ cắt, có ảnh hưởng lớn đến năng suất. Đồ thị trên hình 7.7 cho thấy tổn thất loại I và loại II ảnh hưởng đến năng suất: đường (a) biểu diễn năng suất lý tưởng của máy, tức là không có thời gian chạy không và ngừng máy. Đường (b) năng suất tiệm cận với trị số: $Q = \frac{1}{t_{ck}}$ ở đây có tính đến tổn thất trong chu kỳ (loại I) không kể đến tổn thất ngoài chu kỳ. Đường (c) chỉ rõ: năng suất phụ thuộc vào chế độ cắt. Lúc đầu chế độ cắt cao dần, dao càng mau mòn, cần phải ngừng máy thường xuyên để thay thế, điều chỉnh dụng cụ, tổn thất ngoài chu

kỳ (loại II) tăng lên, năng suất giảm.

Trong trường hợp gia công chi tiết có đường kính thay đổi trong phạm vi lớn, có thể sử dụng phương tiện điều chỉnh tự động để thay đổi số vòng quay của phôi nhằm bảo đảm tốc độ cắt luôn luôn gần với trị số tốc độ hợp lý đã chọn. Về phương tiện tổ chức, kỹ thuật, phải làm thế nào để mỗi lần thay đổi dụng cụ được nhanh chóng, chính xác, tháo lắp dễ dàng, kẹp chặt bảo đảm. Có thể áp dụng các biện pháp như:

a) Cán (chuôi) các loại dao phải được thống nhất hóa và gia công chính xác để dễ tự động hóa việc thay và cấp dao.

b) Sử dụng dao lưỡi chấp, dao tổ hợp hay kẹp nhiều dao trên một gá, lúc đổi dụng cụ thì đổi cả giá dao đã được mài sửa và điều chỉnh sẵn (thường có ba bộ giá dao: một bộ đang làm việc trên máy, một bộ nằm sẵn trong tủ gần máy, một nằm ở nơi mài sửa và điều chỉnh).

c) Sử dụng các dao hình chấu, các đầu gá nhiều dao quay được để đổi vị trí các lưỡi dao.

d) Sử dụng đồ gá theo dạng dưỡng mẫu để định vị nhanh và chính xác dao trên giá, hay giá dao trên bàn máy.

e) Sử dụng các cơ cấu đặc biệt trong giá dao được lắp sẵn trên giá hay trên bàn máy để điều chỉnh dụng cụ chính xác, nhanh chóng, v.v...

7.4.4. Tổn thất loại III và nhiệm vụ nâng cao độ tin cậy của các hệ thống tự động

Tổn thất loại III là những tổn thất liên quan đến độ tin cậy của các hệ thống tự động bao gồm: thời gian sửa chữa, điều chỉnh các cơ cấu của máy và hệ thống tự động, chờ đợi phụ tùng hay chế tạo chi tiết thay thế mới, chờ đợi công nhân điều chỉnh, v.v...

Máy tự động và đường dây tự động là một hệ thống rất phức tạp nhiều chi tiết và bộ phận của nó rất chóng hỏng, cho nên máy không thể làm việc liên tục, hay làm việc nhưng kết quả gia công không đạt yêu cầu.

Để giảm tổn thất ngoài ngoài chu kỳ loại này cần nâng cao tuổi thọ và độ tin cậy của các chi tiết và bộ phận trong hệ thống bằng cách dùng nguyên vật liệu mới, bền, chế tạo chính xác, nhiệt luyện tốt, kết cấu hợp lý, giảm lực ma sát ở các bề mặt tiếp xúc, tăng cường bôi trơn, giảm số lượng chi tiết mau hỏng, mau mòn, lắp dự trữ sẵn các cơ cấu dễ hỏng trong hệ thống, v.v... Mặt khác, phải sửa chữa điều chỉnh máy nhanh bằng cách định kỳ kiểm tra độ mòn, độ tin cậy của các bộ phận xung yếu, tháo lắp các chi tiết thay thế, giảm khối lượng công tác sửa chữa, áp dụng các

quy trình hiện đại trong công nghệ sửa chữa và các biện pháp điều chỉnh nhanh v.v... Ngoài ra, phải chú ý vấn đề sử dụng tốt thiết bị, nhất là thiết bị tự động trong quá trình sản xuất.

7.4.5. Tổn thất loại IV và nhiệm vụ tự động hóa khâu tổ chức

Tổn thất loại IV là những tổn thất liên quan đến tổ chức sản xuất, bao gồm các thời gian tiếp liệu, nhận phôi, thu thành phẩm, dọn phoi, đổi ca, vắng công nhân điều chỉnh và điều hành công việc sản xuất, v.v...

Để giảm tổn thất ngoài chu kỳ loại này phải tự động hóa khâu tổ chức sản xuất, tức là giảm hẳn những tổn thất do sự tổ chức sản xuất chưa hợp lý gây nên và những tổn thất phụ khác. Chẳng hạn, phải cơ khí hóa hay tự động hóa khâu tiếp liệu cho máy, nhất là khi phôi liệu to và nặng. Đối với phôi nhỏ dùng hệ thống cấp phôi tự động, v.v... phải tự động hóa khâu dọn phoi cho từng máy và cả đường dây cũng như phân xưởng. Tự động hóa đến mức cao khâu sử dụng điều khiển máy để công nhân đỡ mệt mỏi. Áp dụng máy tính để giải quyết các vấn đề về tổ chức quản lý, nhằm đảm bảo kế hoạch sản xuất nhẹ nhàng, hợp lý sử dụng các biện pháp kỹ thuật hiện đại để cải thiện điều kiện làm việc của công nhân trong các phân xưởng sản xuất tự động, v.v...

Thời gian phụ càng giảm, công nhân càng có thể đứng nhiều máy hơn. Nếu biết được năng suất Q của máy, thời gian gia công 1 chi tiết T , tổng số thời gian công nhân bận rộn Σt_{br} khi gia công 1 chi tiết trên 1 máy, thì hệ số bận rộn của công nhân Ψ sẽ là:

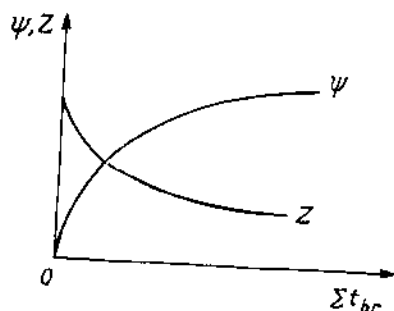
$$\Psi = \frac{\Sigma t_{br}}{T} = Q \cdot \Sigma t_{br}$$

Hệ số này chỉ mức độ bận rộn của mỗi công nhân đứng trên 1 máy. Số máy mà mỗi công nhân có thể đứng (nếu hệ số bận rộn gần như nhau) thì:

$$Z = \frac{1}{\Psi} = \frac{T}{\Sigma t_{br}}$$

Ví dụ: $Q = 3(\text{ct/ph})$; $\Sigma t_{br} = 0,1 [\text{ph/ct}]$ thì $\Psi = 3 \cdot 0,1 = 0,3$ và $Z = 1 : 0,3 = 3$ máy.

Nếu hệ số bận rộn càng bé thì số máy mỗi công nhân phục vụ càng tăng (hình 7.8). Có thể giảm Ψ hay giảm Σt_{br} bằng cách dùng cơ cấu điều khiển tự động thay cho người. Lúc đó công nhân chỉ còn 1 nhiệm vụ là theo



Hình 7.8. Quan hệ giữa thời gian công nhân bận rộn và số máy công nhân có thể đứng.

đổi sự hoạt động của máy móc, kiểm tra chất lượng sản phẩm ở những khâu cần thiết. Nhờ vậy có thể tiến đến tự động hóa từng dây chuyền, từng phân xưởng và cả nhà máy.

Khi mỗi công nhân có thể đứng nhiều máy, cần chú ý sắp xếp các bộ phận điều khiển trong từng máy và bố trí các máy thế nào để thời gian công nhân đi lại phục vụ các máy đạt mức độ tối thiểu.

Cần tìm mọi biện pháp tổ chức sản xuất để loại hẳn các tổn thất thuộc loại IV ra khỏi máy tự động và đường dây tự động.

7.4.6. Tổn thất loại V và nhiệm vụ kiểm tra tự động chất lượng sản phẩm

Tổn thất loại V là những tổn thất liên quan đến việc nâng cao chất lượng sản phẩm, bao gồm thời gian gia công thừa, thời gian xảy ra phế phẩm do điều chỉnh máy chưa đúng, do phối hư hỏng, v.v...

Để giảm tổn thất ngoài chu kỳ loại này cần phải tự động hóa khâu kiểm tra chất lượng sản phẩm bằng cách tự động hóa điều chỉnh dụng cụ, sử dụng các biện pháp kỹ thuật để khắc phục sai lầm chủ quan của công nhân. Kết cấu máy không tốt, xích truyền động có nhiều sai số, độ cứng vững của trục chính-phôi-dụng cụ-bàn máy kém, độ bền mòn không cao v.v... sẽ dẫn đến sai số gia công lớn. Hình thức kiểm tra bị động-kiểm tra sản phẩm sau khi gia công-không khắc phục kịp thời các nguyên nhân gây ra phế phẩm. Hình thức tiến bộ hơn là dùng phương pháp kiểm tra chủ động. Đó là kiểm tra sản phẩm trong quá trình gia công - có thể phòng ngừa và hạn chế phế phẩm, giảm được càng nhiều càng tốt loại phế phẩm này.

Song chế tạo các phương tiện kiểm tra chủ động, mà chủ yếu là các cảm biến, v.v... có nhiều khó khăn và phải làm thế nào để chúng có thể hoạt động tốt, chính xác trong điều kiện không thuận lợi: phoi, bụi, dầu, nước, rung động, khí hậu nhiệt đới, v.v...

Ngày nay nhờ có những phương tiện kỹ thuật tiên tiến nên đã có thể mở rộng kiểm tra chủ động trong nhiều khâu như: mài trong, mài ngoài, doa tinh, tiện tinh, v.v...

Cần chú ý rằng thời gian gia công hỏng 1 chi tiết coi như là thời gian một máy, một hệ thống, một đường dây tự động ngừng làm việc, vì trong quá trình gia công, chi tiết bị hỏng ở một khâu nào đó, thì các khâu sau không thể tiếp tục gia công được do thiếu phối, hoặc gia công được với phôi hỏng sẵn, vô ích.

Máy ngừng làm việc còn đỡ phí tổn hơn máy làm việc, nhưng không kết quả gì.

7.4.7. Tổn thất loại VI và nhiệm vụ linh hoạt hóa sản xuất tự động

Tổn thất loại VI là những tổn thất liên quan đến vấn đề thay đổi sản phẩm gia công, bao gồm thời gian điều chỉnh máy, thay đổi đồ gá, dụng cụ, phụ tùng, cơ cấu điều khiển các chương trình, v.v...

Để giảm tổn thất ngoài chu kỳ loại này phải làm thế nào để điều chỉnh máy nhanh chóng, dễ dàng khi cần gia công chi tiết mới, tức là mở rộng tính vạn năng của máy tự động.

Để khắc phục loại tổn thất này người ta dùng máy điều khiển theo chương trình để thay thế máy tự động điều khiển bằng cam, mỗi lần thay đổi sản phẩm mới chỉ cần thay chương trình là xong, nhiều khi không quá 1 phút.

7.5. CHẾ ĐỘ CẮT HỢP LÝ

Sau khi chọn qui trình công nghệ, phương pháp gia công và dụng cụ, cần xác định chế độ cắt để đảm bảo: chất lượng gia công, năng suất cao và kinh tế nhất. Chọn chế độ cắt trên máy tự động phải chú trọng đặc biệt đến tuổi thọ của dao.

Tuổi thọ có quan hệ hàm số mũ với các thương số cơ bản khác của chế độ cắt như: tốc độ, lượng chạy dao, chiều sâu cắt. Chiều sâu cắt t có thể xem như đại lượng cho sẵn, do lượng dư cắt gọt quyết định. Trong điều kiện sản xuất hàng loạt trên máy tự động, lượng dư cắt gọt phải được tính toán kỹ.

Lượng chạy dao S thay đổi trong phạm vi hẹp, S quá lớn chất lượng bề mặt gia công không tốt, S bé thì năng suất thấp.

Tốc độ cắt V có thể thay đổi trong phạm vi rộng và ảnh hưởng nhiều đến năng suất. Tốc độ bé - năng suất thấp, tốc độ cao - tuổi thọ của dao giảm, do đó năng suất giảm.

Với lượng chạy dao và chiều sâu cắt đã biết cần chọn tốc độ V thế nào để đạt năng suất cao nhất. Đó là vấn đề rất quan trọng, có ảnh hưởng đến việc thiết kế chế tạo và sử dụng máy tự động và đường dây tự động có hiệu quả nhất. Vấn đề dễ giải quyết nếu máy chỉ có một dao gia công, song ở máy tự động và đường dây tự động, cùng một lúc có nhiều dao làm việc, cho nên vấn đề tương đối phức tạp.

7.5.1. Chế độ cắt có nhiều năng suất tối đa

Trong thực tế sản xuất người ta chọn tốc độ cắt V_0 dựa vào các số liệu thực nghiệm cho sẵn trong các bảng về chế độ cắt trên các máy tự động. Nhưng trong điều kiện gia công cụ thể, chưa chắc V_0 đã cho năng suất tối đa, về lý luận có thể tính toán thay đổi tốc độ cắt để đạt Q_{\max} , chẳng hạn cắt với tốc độ V , lúc đó hệ số

thay đổi tốc độ λ sẽ là:

$$\lambda = \frac{V}{V_0} \quad (7.4)$$

λ có thể lớn hơn, bằng hay nhỏ hơn 1.

Bằng cách tính toán, lập phương trình và giải phương trình bậc cao ta sẽ có kết quả như sau:

$$Q = \frac{k_0}{1 + \lambda k_0 + k_0 \sum_1^n c_i \lambda m_{tb}} \quad (7.5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \lambda} = 0$$

$$Q_{\max} = \frac{1}{\sqrt[m_{tb}]{k_0 (m_{tb} - 1) \sum_1^n c_i}}$$

$$\text{và} \quad Q_{\max} = \frac{k_0}{k_0 t_{ck} + \frac{m_{tb}}{m_{tb} - 1} \sqrt[m_{tb}]{k_0 (m_{tb} - 1) \sum_1^n c_i}} \quad (7.6)$$

$$VQ_{\max} = V_{0\lambda} Q_{\max} \quad (7.7)$$

Ở đây:

k_0 - năng suất công nghệ của máy với tốc độ cắt V_0 ;

t_{ck} - thời gian chạy không trong chu kỳ gia công tự động.

$c_i = a_i \frac{t_i}{T_{oi}}$ hệ số liên quan đến dụng cụ cắt.

a_i - thời gian dụng cụ thứ i tham gia cắt trong quá trình gia công một sản phẩm.

t_i - thời gian máy đứng vì hỏng dụng cụ thứ i , bao gồm thời gian tháo lắp và điều chỉnh dụng cụ ở máy, mài sửa hay đi lĩnh dụng cụ mới ở kho.

T_{oi} - tuổi thọ của dụng cụ thứ i với vận tốc cắt V_0 .

$$m_{tb} = \frac{\sum m_i c_i}{\sum c_i} \quad (7.8)$$

trong đó:

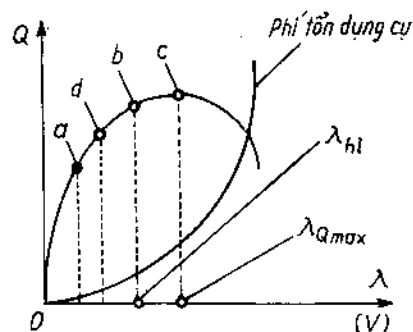
m_i - hệ số ảnh hưởng tốc độ cắt đến tuổi thọ của dao thứ i , $m_i = 2 + 15$. Vật liệu càng tốt, m càng nhỏ.

Trên hình 7.9 là đồ thị $Q = f(\lambda)$ theo công thức (7.2).

Nếu vẽ đồ thị $Q = f(V)$ cũng sẽ như thế.

Từ công thức (7.2) ÷ (7.8) có một số kết luận sau:

* Thời gian chạy không t_{ck} càng bé, năng suất Q càng cao. Chọn đúng $\lambda_{Q_{max}}$ càng quan trọng vì giá trị $\lambda_{Q_{max}}$ mà sai lệch một ít dẫn đến tổn thất lớn về năng suất Q . Máy tự động càng hiện đại, t_{ck} càng bé. Hệ số c_i và m_i càng bé năng suất càng cao, càng có khả năng tăng λ để tăng năng suất và giá lắp dụng cụ (giảm t_i). Muốn giảm m_i phải dùng vật liệu tốt để làm dụng cụ.



Hình 7.9. Quan hệ giữa năng suất và hệ số λ .

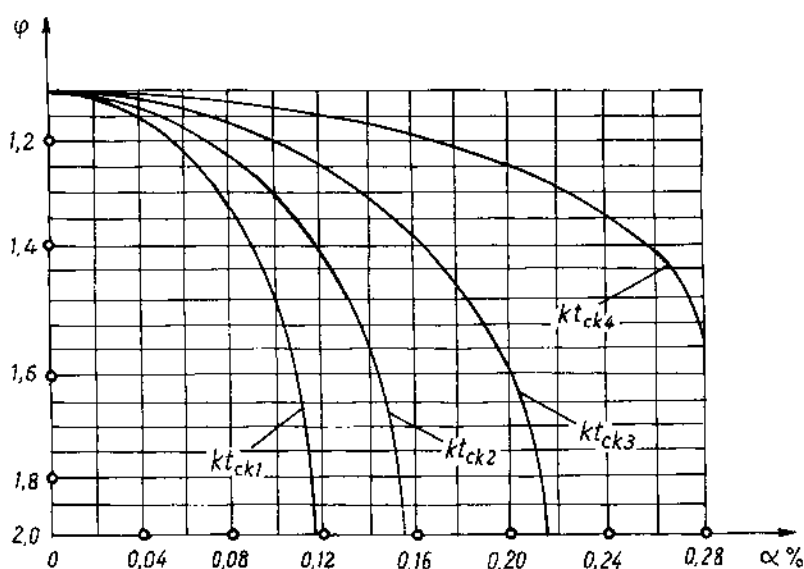
* Năng suất công nghệ càng lớn (k_0), năng suất Q càng cao, đỉnh cao của đồ thị năng suất càng dịch về bên trái, chứng tỏ rằng có khả năng giảm tốc độ cắt (nâng cao tuổi thọ của dao) để tăng năng suất lao động.

* Chế độ cắt hợp lý (xác định $\lambda_{Q_{max}}$) tức là xác định λ cân bằng (đôi khi giảm) tốc độ bao nhiêu để đạt Q_{max} . Đứng về mặt kinh tế mà nói, làm như vậy chưa đủ, vì chưa tính đến phí tổn mới về dụng cụ do tăng tốc độ.

Trên hình 7.9 chấp đồ thị phí tổn dụng cụ vào đồ thị năng suất từ $0 \rightarrow a$ năng suất tăng nhanh nhưng phí tổn dụng cụ ít, nghĩa là có thể tăng λ để tăng Q . Không

nên tiếp tục tăng k cho đến khi năng suất giảm mà phí tổn dụng cụ bị quá lớn và chế độ $\lambda_{Q_{max}}$ không lợi. Lấy $\lambda > Q_{max}$ lại càng không nên.

Nếu lấy năng suất ở điểm c là không tốt vì hạ thấp chế độ



Hình 7.10. Quan hệ giữa ϕ và α .

cắt và không tận dụng hết khả năng của máy, mặc dù chi phí dụng cụ ít. Do đó chọn điểm a là tương đối hợp lý vì năng suất lao động cao và phí tổn dụng cụ vừa phải.

Để chọn λ hợp lý (λ_{hl}) ta sử dụng hệ số dự trữ năng suất theo chế độ cắt:

$$\varphi = \frac{Q_{\max}}{Q_{hl}} > 1 \quad (7.9)$$

Chọn trị số φ_{hl} dựa vào đồ thị $\varphi - \alpha$ (hình 7.10).

α - phí tổn dụng cụ tính theo phần trăm giá thành sản phẩm thực tế cho thấy:

$$1,03 < \alpha_{hl} < 1,06.$$

Trị số φ càng bé chứng tỏ trình độ và năng suất càng cao, phí tổn về $\alpha\%$ càng ít, cho phép tăng tốc độ để tăng năng suất nhiều hơn. Khi biết trị số α , có thể tính lượng dự trữ năng suất A:

$$A = \frac{Q_{\max} - Q_{hl}}{Q_{\max}} \cdot 100 = \frac{\varphi - 1}{\varphi} \cdot 100\% \quad (7.10)$$

Nếu $\alpha = 1,03$ thì $A = 3\%$ và $\alpha = 1,06$ thì $A = 5\%$ $\alpha = 1,12$ thì $A = 10\%$.

Chọn $\lambda_{Q_{\max}} = 1$ dựa vào công thức (7.5) có thể tính được Q_{\max} , Q_{hl} rồi căn cứ vào công thức (7.9) xác định:

$$\lambda_{hl} = \frac{1 + \lambda_{hl}^m}{(\varphi - 1)kt_{ck} + \varphi \frac{m}{m-1}} \quad (7.11)$$

Dùng công thức (7.11) bất tiện vì có λ_{hl} ở 2 vế.

Nếu $m > 2$ có thể dùng công thức gần đúng:

$$\lambda_{hl} = \frac{1}{(\varphi - 1)(kt_{ck} + 3) + 1} \quad (7.12)$$

Trong thực tế người ta dùng công thức λ_{hl} theo Q_{\max} :

$$\lambda_{hl} = \frac{Q_{\max}}{(\varphi - 1)(kt_{ck}\lambda_{Q_{\max}} + 3) + 1} \quad (7.13)$$

Có thể xác định λ_{hl} bằng đồ thị trên hình 7.10. Giao điểm của đường cong năng suất $Q = Q(\lambda)$ với đường cong dự trữ năng suất $\varphi = \varphi(\lambda)$ cho ta trị số λ_{hl} trong từng trường hợp cụ thể. Trên đồ thị tính đường cong Q theo phương trình (7.5) còn đường cong φ dựa vào công thức (7.11).

Chọn chế độ cắt hợp lý là vấn đề khá công phu, đòi hỏi có đầy đủ các số liệu thực tế và phải tính toán tỉ mỉ nhưng là vấn đề cần làm, nhất là trong điều kiện sản

xuất hàng loạt, vì nó có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả kinh tế. Cần lưu ý là chế độ cắt gọt trên máy tự động thấp hơn trên máy vạn năng trong những điều kiện tương tự để tăng tuổi thọ của dao, có thể mới đảm bảo đạt năng suất của máy tự động hay đường dây là lớn nhất.

7.5.2. Hiệu suất làm việc của máy tự động và đường dây tự động

Hiệu suất làm việc là chỉ tiêu quan trọng, đánh giá mức độ hoàn hảo của máy năng lượng cũng như máy công tác, trong đó có máy công cụ vạn năng, máy tự động và đường dây tự động.

Thường người ta đánh giá hiệu suất của máy giống như máy năng lượng theo công thức

$$\eta_N = \frac{N_{ci}}{N_o}$$

Trong đó: η_N - hiệu suất làm việc tính theo công suất N .

N_{ci} - công suất có ích.

N_o - công suất tiêu thụ bao gồm công suất có ích N_{ci} và công suất mất mát N_m do ma sát và các lực cản vô ích khác:

$$N_o = N_{ci} + N_m$$

Nhưng hiệu suất tính theo công thức này chỉ cho ta biết mức độ sử dụng công suất, thực ra nó chỉ mới xác định hiệu suất truyền dẫn η_{td} của máy công tác mà thôi:

$$\eta_N = \eta_{td}$$

Như vậy η_N chưa phải là chỉ tiêu đánh giá mức độ tiến bộ của máy công tác về phương diện năng suất, vì qua nó chưa biết máy nào có năng suất cao hơn. Chẳng hạn, 2 máy công cụ có: $\eta_{N_1} = 0,8$ và $\eta_{N_2} = 0,9$ thì chưa hẳn máy thứ 2 tiến bộ hơn máy thứ nhất.

Do độ phức tạp trong truyền động, tổn thất truyền dẫn máy thứ 1 lớn hơn, nhưng năng suất của nó có thể cao hơn nhiều so với máy thứ 2.

Khác với máy năng lượng và một số máy công tác khác, máy công cụ có chuyển động chạy không xen kẽ với chuyển động làm việc và trong máy tự động: thời gian chạy không chiếm một tỷ số nhất định nào đó trong chu kỳ gia công sản phẩm cụ thể.

Chú ý đến yếu tố thời gian đó, hiệu suất của máy tự động và đường dây tự động không theo công suất N mà theo công suất A đã thực hiện:

$$\eta_A = \frac{A_{ci}}{A_i} = \frac{A_{ci}}{A_o + A_{ck}} \quad (7.14)$$

Trong đó: A - hiệu suất làm việc tính theo công A .

A_{ci} - công có ích.

A_t - công tiêu thụ, bao gồm công thực hiện các chuyển động làm việc A_o và công thực hiện các chuyển động chạy không là A_{ck} . còn $A_t = A_o + A_{ck}$. Công thực hiện chuyển động làm việc A_o gồm công có ích và công mất mát A_m .

$$A_o = A_{ci} + A_m.$$

Biết công suất trung bình N_{ci} , N_m , N_{ck} và thời gian thực hiện chu kỳ gia công $T = t_{lv} + t_{ck}$ có thể tính:

$$A_{ci} = N_{ci} \cdot t_{lv}$$

$$A_o = N_o \cdot t_{lv} = (N_{ci} + N_m) t_{lv} \quad (7.15)$$

$$A_{ck} = N_{ck} \cdot t_{ck}$$

Thay (7.14) vào (7.15) và chia tử số, mẫu số cho N_o , t_{lv} ta có:

$$\eta_A = \frac{N_{ci} \cdot t_{lv}}{N_o t_{lv} + N_{ck} \cdot t_{ck}} = \frac{\frac{N_{ci}}{N_o}}{1 + \frac{N_{ck}}{N_o} \cdot \frac{t_{ck}}{t_{lv}}} \quad (7.16)$$

Vì hiệu suất truyền dẫn $\eta_{td} = \eta_N = \frac{N_{ci}}{N_o}$ và năng suất công nghệ $k = \frac{1}{t_{lv}}$ nên công

thức (7.16) có dạng:
$$\eta_A = \eta_{td} \frac{1}{1 + \frac{N_{ck}}{N_o} k t_{ck}}$$

Ta thấy, hiệu suất làm việc của máy tự động và đường dây tự động bằng tích số của hiệu suất truyền dẫn η_{td} với một hệ số khác chỉ mức độ tiến bộ về phương diện năng suất.

Trong trường hợp riêng, vẫn thường có trong các máy tự động và đường dây tự động, khi công suất các chuyển động chạy không khá lớn do cơ cấu máy phức tạp, gần bằng công suất các chuyển động làm việc, tức là khi $N_{ck} \cong N_o$ thì:

$$\eta_A = \eta_{td} \cdot \eta$$

Ở đây $\eta = \frac{1}{1 + k t_{ck}}$ là hệ số năng suất của máy tự động, vì thế hiệu suất làm việc của máy tự động và đường dây tự động không những phụ thuộc vào hiệu suất

truyền dẫn mà còn phụ thuộc vào hệ số năng suất nữa.

Từ đây ta có thể kết luận rằng:

Mức độ tự động hóa càng cao thì hiệu suất làm việc của máy càng phải lớn. Để thực hiện điều ấy phải đồng thời tăng hiệu suất truyền dẫn và hệ số năng suất, sao cho η_A có trị số cao nhất.

Chương 8

HIỆU QUẢ KINH TẾ TRONG TỰ ĐỘNG HÓA

8.1. CHỈ TIÊU HIỆU QUẢ KINH TẾ

Tự động hóa các quá trình sản xuất rất quan trọng để tăng năng suất, giảm nhẹ cường độ lao động, nâng cao chất lượng sản phẩm, tổ chức sản xuất hợp lý, v.v... Song tự động hóa phải đưa lại hiệu quả kinh tế thì vấn đề tự động hóa mới có ý nghĩa. Cho nên, ngay trong quá trình tính toán kinh tế sơ bộ hay kinh tế kỹ thuật đã phải xác định hiệu quả kinh tế của trang bị mới mà ta dự kiến sẽ đưa vào sản xuất.

Khi xác định hiệu quả kinh tế của tự động hóa cần tính đến tất cả các yếu tố có liên quan trong phạm vi toàn bộ nền kinh tế, làm sao cho năng suất chung của xã hội được nâng cao. Trong thực tế không phải yếu tố nào cũng có thể đưa vào tính toán được, chẳng hạn như nhờ tự động hóa điều kiện làm việc được cải thiện, xóa bỏ dần ranh giới giữa lao động trí óc và lao động chân tay, v.v... Cho nên trong mỗi trường hợp cụ thể, tùy theo nhu cầu mà phải tính tỉ mỉ những yếu tố, ví dụ, vấn đề an toàn lao động trong môi trường độc hại ảnh hưởng sản xuất đến mức độ nào, v.v... Cùng một đối tượng sản xuất có thể có nhiều phương án tự động hóa. Phải xuất phát từ việc tính toán hiệu quả kinh tế mà lựa chọn phương án tự động hóa.

Lâu nay chỉ tiêu hiệu quả kinh tế thường dùng là "thời hạn hoàn vốn" và được tính theo công thức sau:

$$\eta = \frac{k_2 - k_1}{C_1 - C_2} \quad (8.1)$$

Ở đây: η - thời hạn hoàn vốn của trang bị mới.

$k_2 - k_1$ - hiệu số vốn đầu tư cho phương án mới và cũ hay cho hai phương án mới 1 và 2.

$C_1 - C_2$ - tiền tiết kiệm được hàng năm nhờ sử dụng trang bị mới (giá thành sản phẩm).

Đôi khi người ta dùng chỉ tiêu "hệ số hiệu quả" t của vốn đầu tư và đó là đại lượng ngược với chỉ tiêu trên:

$$t = \frac{1}{\eta} = \frac{C_1 - C_2}{k_2 - k_1} \quad (8.2)$$

Để sử dụng hai công thức trên cần tính tổng cộng toàn bộ vốn đầu tư k . Cũng như giá thành sản phẩm C của 2 phương án.

Phương pháp này có ưu điểm là tính toán hiệu quả kinh tế đúng đắn khi đã có các số liệu về tài chính đầy đủ và chính xác. Những số liệu này có được dễ dàng khi phương án đã có hay đang tiến hành sản xuất. Nhược điểm của phương án này là khối lượng tính toán rất lớn và trong đó ta có thể bỏ sót nhiều yếu tố kinh tế - kỹ thuật mà ta chưa nắm chắc trong quá trình sẽ sử dụng trang bị tự động mới, những yếu tố này có thể đưa lại hiệu quả kinh tế tương đối quan trọng.

Nhiều cán bộ kinh tế trong lúc tính toán lại bỏ qua yếu tố quan trọng nhất là năng suất lao động, mặc dù những cán bộ ấy thừa hiểu vai trò quan trọng bậc nhất của vấn đề năng suất lao động.

Cho nên lúc tính toán hiệu quả kinh tế phải đưa yếu tố năng suất lao động vào, mức tăng năng suất lao động ấy không được thấp hơn mức qui định của Nhà nước theo kế hoạch trong từng giai đoạn cụ thể.

Cần nhớ rằng: khi nói đến năng suất lao động không nên chỉ nghĩ đến năng suất lao động sống, tức là của công nhân đang sử dụng các thiết bị tự động. Không nên cho rằng tăng năng suất lao động tức là tăng số máy mà mỗi công nhân có thể phục vụ mà phải hiểu rộng hơn, có thể là năng suất của xã hội. Khi tính toán năng suất không những chỉ tính chi phí lao động sống mà cả chi phí lao động quá khứ, lao động đã làm ra phương tiện sản xuất. Người công nhân đang đứng máy vừa sử dụng lao động của bản thân mình, vừa sử dụng lao động của những người đã chế tạo ra máy móc, vật tư cho mình dùng.

Có nhiều phương pháp tính toán “thời hạn hoàn vốn” hay “hệ số hiệu quả”. Phương pháp dưới đây sẽ phát hiện những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến năng suất lao động. Qua sự phân tích mối quan hệ giữa những yếu tố ấy có thể xác định phương hướng, phương pháp tự động hóa các quá trình sản xuất và biện pháp nâng cao hiệu quả kinh tế khi áp dụng kỹ thuật tự động. Từ đó dễ dàng chọn phương án tự động hóa có hiệu quả cao nhất.

Nội dung của phương pháp ở đây là xác định tăng năng suất lao động và trên cơ sở đó xác định thời hạn hoàn vốn, mức giảm giá thành sản phẩm...

Những điểm này phụ thuộc vào các mức độ: trang bị kỹ thuật, tăng năng suất thiết bị, giảm lao động sống, chi phí về vật liệu, năng lượng, công cụ... và được biểu hiện bằng những hệ số. Phương pháp này có tính lao động sống và lao động quá khứ, nó phù hợp với điều kiện xã hội theo cơ chế thị trường: vì những nhà tư bản tự bỏ tiền túi ra để đầu tư, thì không bao giờ lại đi vay ngân hàng để bù lỗ, nếu không khéo có thể phải đi tù.

Một vấn đề có tính chất nguyên tắc quan trọng đặt ra là khi tính toán hiệu quả kinh tế thì lấy gì để so sánh?

Thông thường người ta so sánh phương án thiết kế mới với phương án đã có sẵn ở nơi sản xuất. Cách so sánh này có hiệu quả là điều không bàn cãi, vì phương án có sẵn là phương án đã đưa vào sản xuất hàng chục năm về trước, thì sao so nổi với phương án hiện đại đang tiến hành thiết kế!

Vậy để tính toán hiệu quả kinh tế, không phải ở chỗ thay hệ mới vào hệ cũ, mà phải xác định hệ mới nào trong các hệ thống dự kiến đưa ra là tốt nhất: vì những hệ thống mới này đều xuất phát từ những tiến bộ của khoa học và kỹ thuật hiện đại. Sau đó mới so sánh phương án đã chọn với phương án có sẵn ở sản xuất để biết mức độ hiệu quả kinh tế đến đâu.

Nếu mẫu so sánh không ở trình độ kỹ thuật hiện đại thì phương án mới thiết kế có hiệu quả kinh tế nhưng nó là phương án lạc hậu, chú ý rằng phương án mới thiết kế sẽ hoạt động trong 5 + 10 năm sau này, hoặc hơn nữa, mà khoa học kỹ thuật ngày nay rất chóng bị lạc hậu, cho nên việc chọn phương án mới thiết kế không ở mức tiên tiến hoặc tiên tiến nhất (trong điều kiện cụ thể cho phép) là lỗi lầm lớn của cán bộ kinh tế và kỹ thuật.

8.2. PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ KINH TẾ

Theo nghĩa rộng, năng suất lao động N là số lượng sản phẩm do một đơn vị lao động đã chi phí tạo ra:

$$N = \frac{Q}{T} \quad (8.3)$$

trong đó: Q - số lượng sản phẩm.

T - tổng số chi phí lao động để làm ra Q sản phẩm.

Nếu Q là năng suất của thiết bị, T là tổng số chi phí lao động trong một đơn vị thời gian để làm ra năng suất Q thì tổng số chi phí lao động Q bao gồm:

- 1 - Chi phí lao động sống để thực hiện quá trình sản xuất.
- 2 - Chi phí lao động quá khứ để thực hiện trang bị (máy móc, nhà cửa, v.v.).
- 3 - Chi phí lao động quá khứ thể hiện ở vật tư tiêu hao (nguyên vật liệu, dụng cụ, năng lượng, v.v.).

Những chi phí này tỷ lệ thuận với giá thành sản phẩm.

Tỷ trọng chi phí lao động sống là yếu tố rất quan trọng để đánh giá mức độ hoàn hảo của nền sản xuất nói chung, đặc biệt là của sản xuất tự động nói riêng.

Các chi phí khác phải so sánh với chi phí lao động sống hay nói cách khác lấy chi phí lao động sống làm thước đo các loại chi phí khác. Do đó ta có 2 chỉ tiêu sau:

1. Hệ số lao động quá khứ thể hiện ở trang thiết bị phụ thuộc vào hệ số k:

$$k = \frac{T_1}{T_s} \quad (8.4)$$

trong đó: T_1 - tổng số lao động quá khứ cho trang bị của đơn vị sản xuất.

T_s - tổng số lao động sống trong 1 năm của đơn vị sản xuất.

Hệ số k này là để xác định thành phần của cải nói chung. Nó phản ánh mức độ trang bị kỹ thuật và lực lượng dự trữ lao động sống của một đơn vị sản xuất nào đó, nói rộng ra là cho cả nền sản xuất của mỗi nước. Hệ số k càng lớn tức là mức trang bị kỹ thuật càng tăng.

2. Hệ số lao động quá khứ thể hiện ở vật tư tiêu hao m:

$$m = \frac{T_v}{T_s} \quad (8.5)$$

T_v - tổng số lao động quá khứ cho vật tư tiêu hao trong 1 năm của đơn vị sản xuất.

Đặc điểm của phương án này trước hết là tính toán các chỉ tiêu chi phí lao động của phương án làm đơn vị so sánh, sau đó tính cho các phương án khác bằng cách đưa vào các hệ số không thứ nguyên.

Sau đây là các hệ số không thứ nguyên đối với phương án thứ 2:

a) Hệ số tăng năng suất của phương tiện sản xuất:

$$\varphi = \frac{Q_2}{Q} l \quad (8.6)$$

b) Hệ số tiết kiệm lao động sống:

$$\varepsilon = \frac{T_{s_1}}{T_{s_2}} \quad (8.7)$$

Ở đây T_{s_1} trên T_{s_2} để dễ dàng thấy lao động sống đã giảm được mấy lần $\varepsilon > 1$.

a) Hệ số thay đổi chi phí lao động quá khứ thể hiện ở trang bị:

$$\sigma = \frac{T_{t_1}}{T_{t_2}} \quad (8.8)$$

d) Hệ số thay đổi chi phí lao động quá khứ thể hiện ở vật tư tiêu hao đối với mỗi sản phẩm:

$$\delta = \frac{T_{v_2}}{T_{v_1}} \quad (8.9)$$

Lúc đó các chỉ tiêu chi phí lao động k và m của phương án thứ 2 sẽ là:

$$k_2 = \frac{T_{t_2}}{T_{s_2}} = \frac{T_{t_1} \cdot \sigma}{\frac{T_{s_1}}{\varepsilon}} = \frac{T_{t_1} \cdot \sigma \varepsilon}{T_{s_1}} = k \sigma \varepsilon \quad (8.10)$$

$$m_2 = \frac{T_{v_2}}{T_{s_2}} = \frac{T_{v_1} \varphi \delta}{\frac{T_{s_1}}{\varepsilon}} = \frac{T_{v_1}}{T_{s_1}} \delta \varphi \varepsilon \quad (8.11)$$

$$m_2 = m \delta \varphi \varepsilon$$

Ở đây δ phản ánh tỷ lệ chi phí đối với mỗi đơn vị sản phẩm và φ phản ánh sự thay đổi chi phí khi thay đổi loạt sản phẩm.

Chỉ tiêu cơ bản để xác định hiệu quả kinh tế là mức độ tăng năng suất lao động λ :

$$\lambda = \frac{N_2}{N_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} = \varphi \frac{T_{t_1} + T_{v_1} + T_{s_1}}{T_{t_2} + T_{v_2} + T_{s_2}} \quad (8.12)$$

Chú ý rằng T_1 trong công thức (8.4) là chi phí quá khứ cho thiết bị có thể sử dụng trong M năm (thời hạn phục vụ hay thời hạn khấu hao) còn T_v và T_s là chi phí tính cho từng năm, cho nên:

$$\lambda = \varphi \frac{\frac{T_{t_1}}{M} + T_{v_1} + T_{s_1}}{\frac{T_{t_2}}{M} + T_{v_2} + T_{s_2}} = \varphi \frac{T_{t_1} + MT_{v_1} + MT_{s_1}}{T_{t_2} + MT_{v_2} + MT_{s_2}}$$

Trên cơ sở các công thức (8.4), (8.5), (8.7), (8.10), (8.11), ta có:

$$\lambda = \varphi \frac{T_{s_1}(k_1 + Mm_1 + M)}{T_{s_2}(k_2 + Mm_2 + M)} = \varphi \varepsilon \frac{k_1 + M(m_1 + 1)}{k_2 + M(m_2 + 1)} = \varphi \varepsilon \frac{k_1 + M(m_1 + 1)}{k_1 \sigma \varepsilon + M(m \delta \varphi \varepsilon + 1)}$$

Có thể bỏ chỉ số 1 trong công thức này và cuối cùng ta có:

$$\lambda = \varphi \varepsilon \frac{k + M(m + 1)}{k \sigma \varepsilon + M(m \delta \varphi \varepsilon + 1)} \quad (8.13)$$

Đại lượng nghịch đảo V của λ là hệ số giảm giá thành sản phẩm:

$$V = \frac{1}{\lambda} \quad (8.14)$$

Tích số các hệ số $\varphi \varepsilon$ là mức độ tăng năng suất của lao động sống:

$$\lambda_s = \varphi \varepsilon \quad (8.15)$$

Công thức (8.15) cho thấy rằng năng suất lao động tỷ lệ thuận với mức tăng năng suất thiết bị sản xuất φ và mức độ đúng nhiều máy của mỗi công nhân ε .

Nếu chỉ xét đến số công nhân trực tiếp sản xuất thì:

$$\varepsilon = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (8.16)$$

Z_1 và Z_2 - số máy công cụ do một công nhân phục vụ trong phương án thứ 1 và thứ 2.

Khi xác định hệ số tăng năng suất của máy φ phải xét năng suất với tất cả các dạng tổn thất ngoài chu kì như đã nói ở phần **năng suất lao động**. Lưu ý rằng ε càng tăng khi tổn thất năng suất ngoài chu kì cũng tăng theo và làm giảm φ , cho nên năng suất lao động giảm, chứ không tăng như ta tưởng.

Phần thứ 2 của công thức (8.13) chỉ độ phức tạp tương đối ψ của phương án và có thể biểu diễn:

$$\psi = \frac{k\varphi\varepsilon + M(m\delta\varphi\varepsilon + 1)}{k + M(m + 1)} \quad (8.17)$$

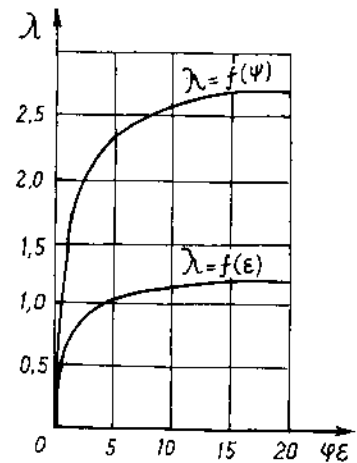
$$\text{Từ đó ta có: } \lambda = \frac{\varphi\varepsilon}{\psi} = \frac{\lambda_s}{\psi} \quad (8.18)$$

Theo công thức (8.18) ta thấy rằng mức tăng năng suất lao động λ tỷ lệ thuận với mức tăng của năng suất thiết bị sản xuất φ , hệ số đúng nhiều máy ε của công nhân và tỷ lệ ngược với độ phức tạp tương đối ψ của phương án tự động hóa.

Công thức (8.13) cho thấy năng suất lao động tăng không như nhau khi φ và ε tăng bởi vì φ và ε có ảnh hưởng đến hệ số ψ khác nhau. Khi ε tăng, hệ số ψ tăng nhanh hơn so với khi φ tăng.

Trên hình 8.1, biểu diễn sự tăng năng suất phụ thuộc vào φ và ε , qua đây cho thấy rõ ràng con đường tăng năng suất lao động chủ yếu là tăng năng suất của thiết bị.

Biện pháp quan trọng để tăng mức năng suất lao động λ là tìm cách giảm hệ số



Hình 8.1. Quan hệ giữa năng suất và $\varphi\varepsilon$

mức độ phức tạp của phương án tự động hóa bằng cách giảm chi phí cho thiết bị, tức là làm giảm σ và giảm chi phí cho vật tư, tức là giảm δ . Mức tăng năng suất lao động còn phụ thuộc vào thời hạn phục vụ M của thiết bị. Thời hạn M càng lớn thì hệ số mức độ phức tạp ψ càng giảm. Dĩ nhiên thời hạn thiết bị phục vụ càng ít thì điều kiện có hiệu quả kinh tế càng thu hẹp lại hay nói cách khác là khó khăn hơn.

Trường hợp giới hạn, khi $M = 0$ từ công thức (8.13) ta có:

$$\lambda = \frac{\varphi}{\sigma} \quad (8.19)$$

Từ đó rõ ràng là hệ thống tự động có hiệu quả kinh tế cao nếu:

$$\lambda > \sigma \quad (8.20)$$

Như vậy, ở đây chúng ta đã chứng minh rằng tăng năng suất lao động tức là giảm mức lao động sống, bằng cách tự động hóa các quá trình sản xuất, nghĩa là sử dụng những phương tiện sản xuất mà năng suất của nó tăng cao vượt hẳn mức chi phí về lao động.

Chỉ tiêu quan trọng nhất để đánh giá hiệu quả kinh tế là thời gian hoàn vốn của thiết bị tự động. Thời hạn hoàn vốn n , như thường nói, là thời gian mà tiền tiết kiệm do năng suất của thiết bị mới tăng lên đã bù lại vốn đầu tư ban đầu cho thiết bị ấy.

Khi $M = n$ thì $\lambda = 1$.

Thay giá trị M và λ vào công thức (8.13) ta có:

$$n = \frac{k(\sigma - \varphi)}{m\varphi(1 - \delta) + \varphi - \frac{1}{\varepsilon}} \quad (8.21)$$

Từ số công thức (8.21) là hiệu số vốn đầu tư của 2 phương án, mẫu số là mức tiền tiết kiệm lao động quá khứ và lao động sống của các phương án.

Phân tích công thức (8.21) cho thấy rằng khi $\varphi > \sigma$ thì nhất định hoàn vốn được vì đầu tư cho phương án mới ít hơn vốn đầu tư cho phương án cũ với cùng một sản lượng. Mặt khác, nếu mẫu số của công thức này tiến tới 0, thì thiết bị mới không thể hoàn vốn được. Trường hợp này xảy ra khi chi phí lao động quá khứ về vật tư tiêu hao nhiều hơn khả năng tiết kiệm lao động sống.

Cần chú ý giảm mức tiêu hao lao động quá khứ là biện pháp quan trọng. Nếu $\delta = 1$, tức là mức chi phí về nguyên vật liệu, dụng cụ, điện năng, v.v. ... trong mỗi sản phẩm như cũ, thì thời hạn hoàn vốn không thay đổi. Nếu chi phí này nhiều hơn một

ít ($\delta > 1$) thì thời hạn hoàn vốn tăng hẳn lên, thiết bị mới trở nên kém hiệu quả. Đồ thị trên hình 8.2 cho thấy điều ấy.

Như vậy để xác định hiệu quả kinh tế cần tiến hành:

1/ Xác định các trị số φ và ε trên cơ sở tính toán về mặt kỹ thuật.

2/ Xác định các mức chi phí σ và δ .

3/ Chọn thời gian phục vụ của thiết bị, từ các số liệu trên xác định λ và so sánh λ với λ_K theo kế hoạch dự định tăng của ngành.

4/ Nếu $\lambda > \lambda_K$ thì tiến hành tính thời hạn hoàn vốn n , rồi so sánh n với mức qui định cho phép lâu nay trong ngành.

Nếu $\lambda < \lambda_K$ thì phải điều chỉnh lại phương án.

Ví dụ minh họa:

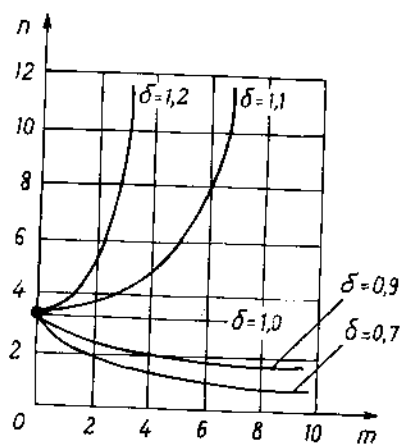
Giả sử có một phân xưởng với dây chuyền sản xuất gồm 20 máy tiện, mỗi máy có 1 công nhân phục vụ. Ở đây toàn là thiết bị vạn năng với mức giá thành thấp ($k = 1$). Chi phí cho vật liệu dụng cụ, năng lượng ... giả sử rằng ít, chỉ chiếm 1/5 tiền lương ($m = 0,2$).

Bước đầu tự động hóa có thể tiến hành thay máy tiện vạn năng với năng suất thấp bằng những máy tiện nửa tự động nhiều trục chính với năng suất có thể cao hơn 15 lần ($\varphi = 15$) và giá thành lại đắt hơn 10 lần ($\sigma = 10$) mỗi công nhân có thể đứng được 2 máy ($\varepsilon = 2$). Rõ ràng là phương án này đưa lại hiệu quả kinh tế, vì $\varphi > \sigma$, năng suất lao động sống tăng lên $\lambda_s = \varphi \cdot \varepsilon = 15 \cdot 2 = 30$ lần, còn năng suất lao động chung của xã hội với thời hạn phục vụ của thiết bị $M = 10$ năm sẽ tăng là:

$$\lambda = \varphi \varepsilon \frac{k + M(m+1)}{k \sigma \varepsilon + M(m \delta \varphi \varepsilon + 1)} = 15 \cdot 2 \cdot \frac{1 + 10(0,2 + 1)}{1 \cdot 10 \cdot 2 + 10(0,2 \cdot 15 \cdot 2 + 1)} = 4,35$$

Tiếp tục tăng năng suất lao động bằng cách tăng ε . Điều này có thể làm được nếu ghép những máy nửa tự động thành đường dây tự động. Muốn vậy phải cải tiến tay máy và chế tạo hệ thống vận tải phối tự động giữa các máy, tức là phải đầu tư thêm.

Để có đường dây tự động gồm 10 máy, giả sử tiền đầu tư thêm chiếm khoảng 20% giá thành ban đầu của các máy nửa tự động ($\sigma = 1,2$), trong lúc đó năng suất của thiết bị vẫn không thay đổi ($\varphi = 1$), mức tăng các tổn thất khác cho là không



Hình 8.2. Quan hệ giữa m và n .

đáng kể ($\varphi = 1$), chỉ có số máy mỗi công nhân đứng là tăng lên ($\varepsilon = 5$). Trong phương án này, $\varphi < \delta$ cho nên hiệu quả kinh tế sẽ thấp hơn lần trước.

$$\lambda_s = \varphi \cdot \varepsilon = 1.5 = 5 \text{ lần}$$

$$\lambda = \varphi \varepsilon \frac{k + M(m+1)}{k\sigma\varepsilon + M(m\delta\varphi\varepsilon + 1)} = 5 \frac{20 + 10(6+1)}{20.1.2.5 + 10(6.5 + 1)} = 1,05 \text{ lần}$$

$$n = \frac{k(\sigma - \varphi)}{m\varphi(1 - \delta) + \varphi - \frac{1}{\varepsilon}} = \frac{20.(1,2 - 1)}{1 - 0,2} = 5 \text{ năm}$$

Tiếp tục tính toán như vậy cho các phương án khác và điền số liệu vào bảng 8.1.

Bảng 8.1

Nº	Phương án tự động hóa	k	m	φ	ε	σ	δ	λ_s	λ_I	λ_{II}	n
I	Dây chuyền máy tiện	1	0,2	1/15	0,2	0,1	1	1/30	1	-	
II	Dây chuyền máy nửa tự động	20	6	1	1	1	1	1	4,35(11)	1	
III	Dây chuyền tự động gồm 10 máy	120	30	1	5	1,2	1	5	4,55(12,6)	1,05	5
IV	Dây chuyền tự động gồm 20 máy	250	60	1	10	1,25	1	10	4,55(12,6)	1,05	5,5
V	nt	260	60	1	10	1,3	1	10	4,50(12,2)	1,04	6,7
VI	Đường dây tự động máy đặc biệt	600	60	1	10	3	1	10	3,22(5,4)	0,74	44,5
VII	nt	1000	60	1	10	5	1	10	2,44(3,3)	0,56	112
VIII	Đường dây tự động với công nghệ tiên tiến và năng suất cao	400	48	3	30	2	0,8	30	6,25(16)	1,44	

Có thể lấy phương án máy tiện vạn năng hay máy tiện nửa tự động nhiều trục chính làm khởi điểm để so sánh. Ở cột λ_I ghi các số liệu về mức tăng năng suất lao động so với phương án máy tiện vạn năng (số hiệu trong dấu ngoặc là trường hợp không tính đến chi phí tiêu hao quá khứ, $m = 0$; ở cột λ_{II} - so sánh với phương án II.

Như vậy, nếu chúng ta chế tạo đường dây tự động gồm 10 máy (phương án III) thì năng suất lao động tăng 4,55 lần so với phương án máy tiện vạn năng hay 1,05 lần so với máy nửa tự động thì chi phí lao động giảm.

Tất nhiên có xu hướng ghép nhiều máy hơn vào đường dây tự động, tức là đường dây không chỉ có 10 máy mà là 20 máy với 1 công nhân phục vụ, nhưng ở đây khó khăn về kỹ thuật và chi phí tự động hóa sẽ tăng lên nhiều. Nếu chi phí đến 25%

($\sigma = 1,25$) của giá thành thiết bị ban đầu (không phải là 20% như trường hợp trước) thì tổng số chi phí lao động và năng suất lao động của xã hội vẫn ở mức cũ (phương án IV). Nếu chi phí lên đến 30% ($\sigma = 1,3$) thì năng suất không tiếp tục tăng lên nữa mà lại giảm và chi phí lao động chung tăng (phương án V).

Lưu ý thêm là, chi phí để tự động hóa trong các phương án III, IV, V thường là khá cao vì việc tự động hóa này do bản thân xí nghiệp sử dụng thiết bị tiến hành, chứ không phải là xí nghiệp chế tạo máy công cụ đảm nhiệm. Việc cải tiến tự động hóa có tính chất riêng lẻ và chế tạo với phương pháp thủ công làm cho giá thành tự động hóa rất đắt.

Những điểm vừa phân tích trên cho thấy rằng tự động hóa trong phương án III đã tận dụng hầu hết khả năng tiết kiệm lao động sống. Việc đầu tư thêm để tự động hóa tiếp tục theo kiểu như vậy dù là đường dây tự động có hoàn hảo đến đâu cũng không mang lại tiết kiệm lao động sống một cách rõ rệt và năng suất lao động không tăng lên.

Trong phương án V lao động quá khứ tăng gấp 260 lần lao động sống, có nghĩa là mức trang bị của hệ thống đã rất cao. Điều ấy báo hiệu rằng: liệu có nên tiếp tục đầu tư tự động hóa để tăng số máy mà mỗi công nhân có thể đứng không? Nếu không chú ý đến điều ấy cứ tiếp tục tạo ra đường dây tự động từ khâu đưa nguyên liệu cho đến khâu đóng gói thì nhất định phải bỏ nhiều công của để tạo ra những thiết bị đặc biệt, những thiết bị này dựa trên cơ sở công nghệ sẵn có, vẫn đạt năng suất ở mức cũ, những chi phí lại rất lớn, thời gian thiết kế, chế tạo, điều chỉnh,... khá dài.

Giả sử, giá thành thiết bị đặc biệt chỉ đắt hơn thiết bị cũ 3 lần thì chi phí lao động cũng đã rất lớn, $k = 600$ (phương án VI) nhưng năng suất lại giảm rõ rệt. Nếu thiết bị đặc biệt đắt hơn 5 lần, $k = 1000$ (phương án VII) thì chi phí chung về lao động cho mỗi sản phẩm cũng không khá hơn gì mấy so với chi phí lao động nặng về thủ công trên máy vạn năng.

Rõ ràng là dù có giảm giá thành thiết bị đặc biệt đến mức nào, dù tính tiền khấu hao thiết bị ra sao, tổng chi phí để làm đường dây tự động hóa với thiết bị đặc biệt cũng không thể thấp hơn chi phí để cải tiến thiết bị cũ có sẵn trong phương án III.

Đường dây tự động với thiết bị đặc biệt (phương án VII) cho năng suất cao hơn 2,44 lần so với phương án sản xuất trên máy tiện vạn năng nhưng điều ấy không nói lên rằng phương án VII là hiệu quả và nên làm. Thực ra, phương án VII còn kém hơn cả phương án II sử dụng thiết bị nửa tự động. Tóm lại, nếu năng suất của thiết bị vẫn như cũ (không thay đổi công nghệ) thì không thể nào tăng năng suất lao động lên cao được. Chỉ có một lối thoát: tạo ra những qui trình công nghệ mới và thiết bị mới với năng suất cao!

Thực vậy, nếu sử dụng qui trình công nghệ mới, giả sử, tăng năng suất thiết bị được 3 lần, giá thành thiết bị đắt hơn 2 lần, giảm được mức chi phí tiêu hao (vật liệu, dụng cụ, điện năng...) độ 20%, $\delta = 0,8$ thì sẽ có hiệu quả kinh tế rất lớn, năng suất lao động tăng đến 6,25 lần (phương án VIII).

Vậy, *con đường chủ yếu để tăng năng suất lao động xã hội là tăng năng suất của phương tiện sản xuất.*

Trong nền kinh tế thị trường thì việc hoàn vốn còn phụ thuộc vào lãi suất ngân hàng của từng nước và từng giai đoạn.

Giả sử, vay của ngân hàng là V đồng vốn với lãi suất là l , thì sau 1 năm lượng tiền vay của ngân hàng sẽ tăng lên là $V + lV = V(l + 1)$. Đến cuối năm thứ 2 thì lượng tiền nợ ngân hàng sẽ là $V(l + 1)^2$, cuối năm thứ 3 là $V(l + 1)^3$... Từ biểu thức này ta thấy nếu lãi suất cho vay 10% năm thì 1 đồng vay ngày hôm nay, sau 1 năm sẽ tích lũy thành 1,1 đồng. Sau 2 năm sẽ tích lũy thành 1,21 đồng. Và công thức tổng quát vay trong n năm thì vốn lúc ấy là V_n :

$$V_n = V(l + 1)^n \quad (8.22)$$

Chứng minh công thức (8.22).

Với vốn V , lãi l trong năm thứ 1 thì vốn sau 1 năm là $V_1 = V(l + 1)$.

Trong năm thứ 2 thì vốn sau 1 năm là $V_2 = V_1 + V_1 l = V(l + 1)^2$.

Trong năm thứ 3 thì vốn sau 1 năm là $V_3 = V_2 + V_2 l = V(l + 1)^3$.

Trong năm thứ n thì vốn sau 1 năm là $V_n = V(l + 1)^n$ (1)

Vậy nếu gọi lượng tiền trong năm thứ n là X và đem chia (1) cho: $(l + 1)^n$ cả hai vế ta có công thức tính giá mua ban đầu là:

$$X \frac{1}{(1 + l)^n} = G_M \quad (8.23)$$

G_M - giá tiền cần mua thiết bị hiện nay.

Có nghĩa là: G_M - giá của thiết bị cần mua hiện nay để sau n năm sẽ mang lại tổng giá trị là X .

Ví dụ, cần mua một đường dây tự động nhưng chưa biết nên mua với giá bao nhiêu thì tính như sau:

Giả sử đường dây tự động này cứ mỗi năm mang lãi cho ta là 50 triệu và dự kiến sau 5 năm sẽ bán thanh lý lại 10 triệu (vì đã cũ,...). Lãi suất ngân hàng là 10% năm, vậy:

$$50 \text{ triệu} \times 5 \text{ năm} = 250 \text{ triệu}$$

$$X = 250 + 10 = 260 \text{ triệu}$$

$$G_M = 260 \frac{1}{(1+0,1)^5} = 260 \frac{1}{(1,1)^5} = 260 \frac{1}{1,61} \approx 161 \text{ triệu}$$

Vậy đường dây tự động này nếu chỉ dùng 5 năm thì vốn đầu tư ban đầu không được quá 161 triệu. Nếu mua càng thấp hơn thì đó là phần lãi. Nếu 50 triệu thu hàng năm lại cho sinh lợi thì càng lãi hơn.

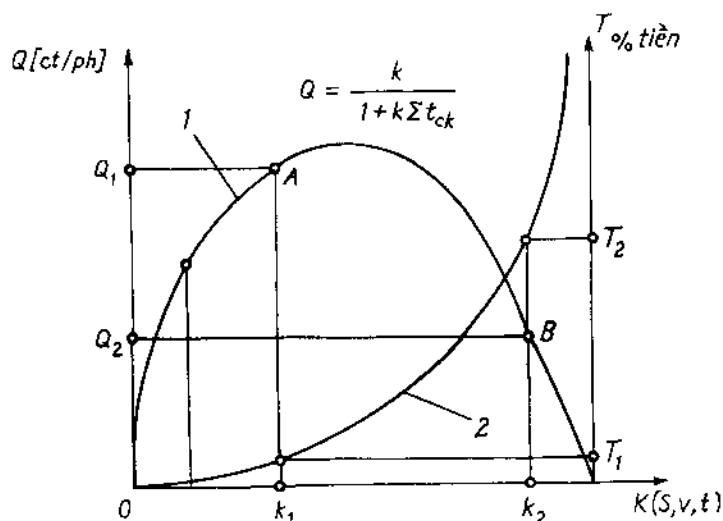
Theo công thức trên hệ số $\frac{1}{(1+l)^n}$ được gọi là hệ số chiết khấu.

Ví dụ,

Nếu giá trị tích lũy trong 1 năm là 1 đồng và lãi suất 10% thì giá trị hiện tại của nó hôm nay là $1:1,1 = 0,91$. Tương tự như vậy nếu giá trị tích lũy sau 2 năm là 1 đồng thì giá trị hiện tại hôm nay của 1 đồng đó, khi lãi suất 10% sẽ là:

$1:(1+0,1)^2 = 0,83$ đồng người ta gọi đây là qui luật lãi kép và 1 đồng cho vay càng lâu thì tích lũy thành một số tiền càng lớn và mức lãi suất càng lớn thì lượng tích vốn lũy càng nhanh. Lý thuyết về lãi suất và giá trị hiện tại của vốn trong tương lai là cơ sở để xác định giá trị của một tài sản.

Hình 8.3 biểu diễn mối quan hệ việc đầu tư khi tính toán, thiết kế, chế tạo và khai thác máy tự động và đường dây tự động:



Hình 8.3. Mối quan hệ giữa Q, T và k.

Có thể mô tả tổng quát quá trình cơ khí hóa và tự động hóa để tăng năng suất lao động như trên hình 8.3. Đường (1) nói lên năng suất lao động thực tế. Khi tăng đến một mức độ nào đó lại bắt đầu giảm. Đường (2) nói lên chi phí tương ứng. Ví dụ: ở k_1 ta có năng suất Q_1 và chi phí là T_1 . Nếu đầu tư để đạt năng suất lý tưởng là k_2 thì năng suất đạt $Q_2 \approx \frac{Q_1}{2}$; nhưng tiền đầu tư gấp 3 lần T_1 ($T_2 = 3T_1$).

Chương 9

CƠ KHÍ HÓA TRONG NGÀNH CƠ KHÍ

Như chúng ta đã biết: cơ khí hóa là thay thế sức người bằng máy móc để thực hiện nhanh chóng những công việc nặng nhọc. Trong chương 7 cho thấy cơ khí hóa (CKH) là giai đoạn đầu của tự động hóa (TĐH), vì trên con đường tiến lên CKH và TĐH thì xu thế tất yếu là phải tận dụng các máy vụn năng sẵn có để tăng năng suất, giảm cường độ và thời gian lao động của công nhân.

Đối với những nước có trình độ khoa học kỹ thuật thấp thì CKH lại rất cần thiết và bức bách.

Trọng tâm của việc CKH là sử dụng các loại ổ cấp phôi để lắp thêm vào máy công cụ vụn năng làm cho công nhân đứng trên một máy tiến đến có thể vận hành hai rồi ba máy, v.v... Ví dụ như ổ cấp phôi cho máy mài vô tâm, ổ cấp phôi cho máy mài trục bậc, ổ cấp phôi và đồ gá chép hình hai tọa độ lắp trên máy tiện vụn năng để tiện trục bậc, v.v... Dưới đây là thiết bị cấp phôi dùng trong việc CKH trong ngành gia công cơ khí.

9.1. CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ CẤP PHÔI

Cấp phôi là quá trình chuyển phôi từ ổ chứa phôi qua các rãnh chuyển phôi, ngăn phôi, định hướng và đưa đến vị trí gia công.

9.1.1. Phôi cuộn

Phương pháp cấp phôi cuộn có năng suất cao nhất, nhưng chỉ dùng cho các máy dập nguội như dập đỉnh, dập bi, cắt que hàn điện, quán lò xo, máy tiện tự động cắt đứt định hình, v.v...

Nguyên lý làm việc:

Phôi loại này là những dây thép cuộn vào trong một ròng rọc lớn; ròng rọc có thể quay tự do quanh trục của nó, để dẫn phôi thường dùng hệ thống con lăn qua ròng rọc, ròng rọc dẫn được liên hệ với dao cắt đứt qua hệ thống cam hay cần; mỗi lần cắt đứt chi tiết xong phôi lại phóng ra một đoạn đến ụ chắn để chuẩn bị cho cắt đoạn tiếp theo.

9.1.2. Phôi thanh

Dùng nhiều nhất phôi thanh cho các máy tiện tự động một trục và nhiều trục.

Phôi loại này thường được vuốt nguội đạt độ bóng và chính xác yêu cầu, đó là các loại thép A₁₀, A₁₅, A₂₀ mỗi thanh dài từ 1 + 5 m. Có hai phương pháp cấp phôi thanh.

a) **Cấp phôi thanh bằng tải trọng** (đối trọng). Chúng được dùng phổ biến cho máy tự động dọc định hình (nhóm I) như 110, 1A10Π, 1Π12, v.v...

b) **Cấp phôi thanh nhờ cơ cấu chấu kẹp, chấu đẩy và cơ cấu chắn phôi.**

Loại này dùng nhiều nhất trong máy tự động nhiều trục và tự động Rêvônve (nhóm II và nhóm III) như 1A240-6, 1A265-8, 1112, 1A136, 15118, v.v.

9.1.3. Phương pháp cấp phôi đơn chiếc

Đây là phương pháp trọng tâm ta cần nghiên cứu vì nó được sử dụng rộng rãi trong việc CKH cũng như TĐH. Cơ cấu cấp phôi đơn chiếc lại có 3 kiểu: ổ cấp phôi, phễu cấp phôi và loại hỗn hợp.

a) **Ổ cấp phôi** là cơ cấu chứa phôi được người ta sắp xếp và định hướng bằng tay. Loại này đơn giản dễ chế tạo nhưng năng suất thấp (hình 9.1).

b) **Phễu cấp phôi** là cơ cấu chứa phôi không được sắp xếp trước (phôi đổ vào tự do không theo một thứ tự nào cả) và đây là loại trọng tâm nhưng vì khuôn khổ của giáo trình không cho phép nên trong tài liệu này chỉ nêu tóm tắt một số nguyên lý cơ bản còn học sinh phải tự đọc thêm trong (giáo trình[1] và [17]).

Vì trong sản xuất ta thường gặp các chi tiết có trọng lượng và kích thước bé, hình dạng và kích thước đơn giản, đòi hỏi thời gian gia công, lắp ráp cũng như kiểm tra ngắn, độ chính xác gia công không cao nên người ta thường dùng phễu cấp phôi.

c) **Phễu cấp phôi hỗn hợp** là sự kết hợp giữa ổ và phễu, loại này chỉ dùng khi chi tiết quá phức tạp về hình dạng và kích thước và về trọng lượng thì rất khó trong việc định hướng, tỷ lệ sản xuất không phù hợp với một kết cấu phức tạp đắt tiền của ổ đã chế tạo ra (hình 9.2).

9.2. NHỮNG NGUYÊN TẮC CƠ BẢN ĐỂ CHỌN CƠ CẤU CẤP PHÔI

- + Bảo đảm năng suất lớn nhất và dễ dàng sửa chữa khi cơ cấu làm việc.
- + Kết cấu phải đơn giản, dung tích chứa lúc ít nhất máy vẫn làm việc được một thời gian ngắn nữa.
- + Thuận lợi khi sử dụng, giá thành hạ.
- + Dễ dàng lắp đặt trên máy và khi di chuyển.

Những điều cần chú ý khi định hướng phôi.

Đối với cơ cấu cấp phôi điều quan trọng nhất là định hướng. Cách định hướng phôi phụ thuộc vào hình dáng, cỡ, kích thước, trọng lượng độ nhám bề mặt, trọng lượng phân bố đối xứng hay không, v.v của phôi. Đặc biệt đối với kích thước, hình

dáng trong chi tiết có các lỗ khác nhau, chi tiết có đầu hay có rãnh, v.v... thì lại càng cần chú ý nhiều hơn, vì nó sẽ đóng vai trò gần như quyết định phương án định hướng.

Ví dụ: * Chi tiết trụ hoặc trụ đối xứng thì không đòi hỏi định hướng.

* Chi tiết có một trục hoặc một mặt đối xứng thẳng góc với trục quay của nó thì dùng định hướng đơn giản.

* Chi tiết có một trục đối xứng và một trục quay thì dùng định hướng phức tạp.

Định hướng đơn giản thường chỉ có một đường dẫn hướng vào và một đường dẫn ra hay phôi nằm trong ổ hoặc phễu qua cơ cấu trung gian đã đưa ra là được.

Định hướng phức tạp thường chia làm 3 giai đoạn:

- + Định hướng sơ bộ.
- + Định hướng trung gian.
- + Định hướng hoàn chỉnh.

Hai giai đoạn định hướng trung gian và hoàn chỉnh có thể lặp đi lặp lại và có thể bố trí bên trong cơ cấu cấp phôi hay bên ngoài hoặc trên đường đi đến máy gia công.

Đưa phôi từ máng dẫn hay chứa phôi vào vị trí gia công thường có 3 cách:

- + Dùng cơ cấu cơ khí.
- + Dùng pittông thủy lực hay khí nén.
- + Dịch chuyển liên tục (mài vô tâm).

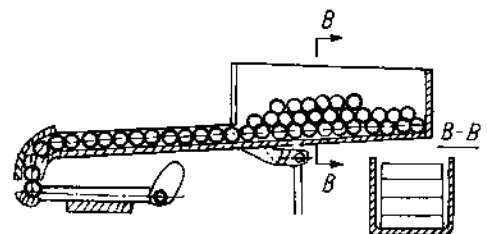
9.3. PHỄU CẤP PHÔI

9.3.1. Định hướng đơn. Có hai nhóm sau

Nhóm I. Lấy phôi bằng các dạng cần vấu:

- a- Dùng cần vấu
- b- Cần vấu quay theo mặt bên của đĩa
- c- Định hướng đai ốc
- d- Định hướng bằng vấu.

Nhóm II. Lấy phôi bằng các khe hay ống:



Hình 9.1. Ổ cấp phôi bằng tay.

- a- Dùng ống dẫn.
- b- Dùng máng khe hở.
- c- Dùng băng chuyển khe hở.

9.3.2. Định hướng kép. Có 4 nhóm sau:

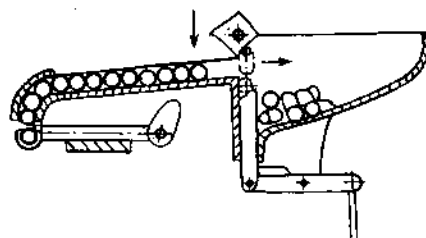
Nhóm I. Dùng cần vấu và đĩa có khe:

- a- Dùng chốt định hướng.
- b- Dùng đĩa và chốt định hướng.

Nhóm II. Dùng đĩa có khe và băng truyền.

Nhóm III. Dùng các rãnh xoắn.

Nhóm IV. Dùng ống dẫn có các hình dáng khác nhau.



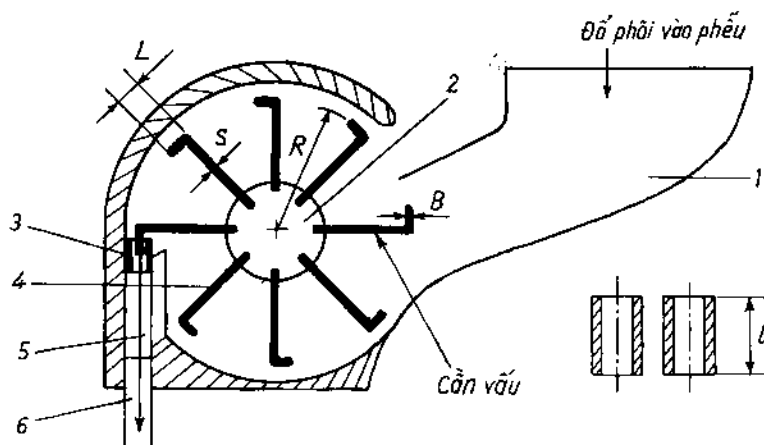
Hình 9.2. Phễu cấp phối hỗn hợp

9.4. PHỄU CẤP PHÔI RUNG ĐỘNG

Khảo sát cụ thể ba loại điển hình sau:

- Lấy phối bằng các chi tiết dạng vấu, hình 9.3.
- Dùng rãnh xoắn.
- Phễu cấp.

9.4.1. Lấy phối bằng các chi tiết dạng vấu



Hình 9.3. Phễu cấp phối rung động lấy chi tiết bằng các cần vấu.

Cần vấu có thể uốn theo các góc khác nhau, theo hình dáng của lỗ phối, hình

9.4.

Khi đổ phôi vào phễu 1 (hình 9.3), vòng cần vấu 2 quay nhờ truyền động cơ khí sẽ mang phôi 3 vào vấu 4, quay đến lỗ 5 thì thả rơi phôi 3 vào ống 6 bằng phương pháp trọng lượng.

Công thức tính toán thể tích phễu:

$$V_p = \frac{V.T}{t.\eta} \text{ hay } V_p = \frac{V.T.Q}{\eta}$$

Ở đây: V_p - thể tích của phễu có thể chứa phôi (cm^3);

V - thể tích của một chiếc phôi (cm^3);

t - thời gian gia công xong một chi tiết (phút);

η - hệ số thể tích (độ chặt, lỏng khi các chi tiết nằm tự do đối với nhau),

$\eta = 0,4 + 0,6$. Chi tiết càng phức tạp, càng dài thì η càng bé (đây là hệ số thực nghiệm);

T - thời gian mỗi lần cần vấu đưa 1 chi tiết vào máng dẫn (phút) .

Q - năng suất trung bình phút của cơ cấu cấp phôi (chi tiết/phút):

$$Q = Z.n.\eta = \frac{1000.v}{m} \eta \text{ (chi tiết/phút)}$$

m - bước của vòng cần vấu (mm);

δ - chiều dày hay đường kính của vòng vấu (mm);

L - chiều dài phần cong của đầu vấu;

l - chiều dài phôi;

Δl - khoảng hở giữa mặt đầu của phôi khi đeo vào vấu với thân vấu đứng trước đó (mm), Δl càng lớn khi tốc độ của vòng vấu và đường kính phôi lớn.

v - vận tốc cấp phôi:

$$v = 15 + 25 \text{ (m/phút)}$$

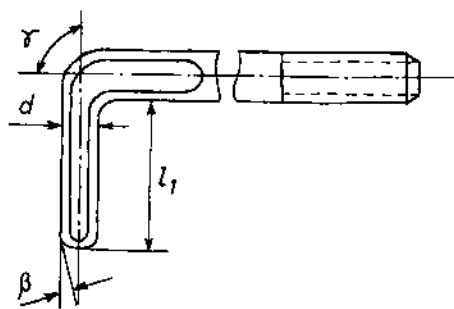
Thường $Q = 90 + 140$ (chi tiết/phút)

Z - số vấu trong một vòng vấu chọn theo bảng 9.2.

n - số vòng hay hành trình kép/phút.

Góc $\beta = 2^\circ + 5^\circ$ (mục đích để dễ dàng cho cần vấu khi đeo vào và bỏ chi tiết ra).

- Đường kính d của cần vấu không được lớn hơn 0,6 và không được bé hơn



Hình 9.4. Cần vấu uốn theo góc hoặc theo hình dáng của lỗ phôi.

0,45 đường kính phôi. Cần vấu không được có sắc cạnh hay các bậc rõ ràng chênh lệch nhau.

l_1 - phần cong của vấu vấu, $l_1 = (1,2 + 1,3)l$.

Góc $\alpha = 80 + 85^\circ$.

Nếu gọi B là chiều rộng của máng dẫn (mm) ta có:

$$B = \frac{4d^2 + 8Rd + l^2}{8R + 4d}$$

R - bán kính vòng vấu (mm), bảng 9.1.

Bảng 9.1. Trị số bán kính vòng vấu, mm

Chiều dài chi tiết (mm)	Đường kính chi tiết (mm)	
	6 + 12	12 + 20
	Bán kính vòng vấu, R	
10 + 20	170 + 175	-
20 + 40	200	175
40 + 60	200	200
60 + 70	200	200

Bảng 9.2. Số vấu trong mỗi vòng vấu, Z

Kiểu vòng vấu	Chiều dài chi tiết (mm)			
	10 + 20	20 + 40	40 + 60	60 + 80
	Số vấu trong một vòng vấu			
Vòng vấu đĩa	14	12	10	10
Cần vấu cố định theo mặt bên của đĩa	16	14	12	10
Cần vấu quay theo mặt bên của đĩa	12	10	8	8

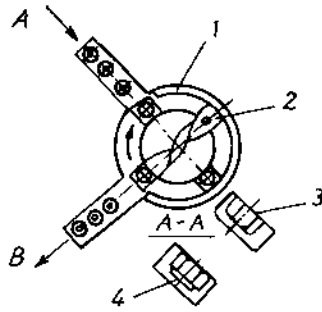
9.4.2. Cấp phôi theo kiểu rãnh xoắn

Phôi là loại đai ốc có một đầu phẳng (xem hình 9.5). Phôi từ phễu vào theo mũi tên A, đĩa 1 quay tròn mang phôi đến vị trí, phôi sẽ nằm theo 2 vị trí khác nhau.

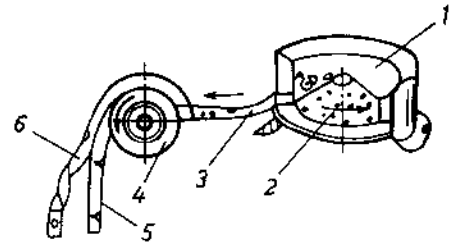
Nếu theo vị trí 3 phôi sẽ trượt qua rãnh xoắn để vào theo máng B với đầu bằng phía dưới. Nếu nằm theo vị trí 4, do khe S nên không qua được rãnh xoắn.

Nếu phôi có đầu tán nó sẽ chui vào máng 6 qua rãnh xoắn để đảo chiều (xem hình 9.6).

Nếu đầu tán xuống dưới nó sẽ chui vào máng 5. Sau đó hai máng nhập lại dẫn phôi đến nơi gia công.



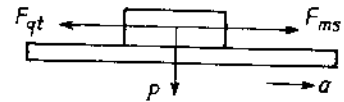
Hình 9.5. Cấp phôi theo kiểu rãnh xoắn.



Hình 9.6. Cấp phôi theo kiểu rãnh xoắn khi phôi có dầu tán để đảo chiều.

9.4.3. Phễu cấp phôi rung động

Giả sử có một chi tiết cần gia công nằm trên một mặt phẳng nằm ngang. Cho rằng mặt phẳng chuyển động từ trái sang phải với gia tốc a thì hệ thống sẽ có những lực tác động như sau, hình 9.7.



Hình 9.7. Lực dịch chuyển phôi ở phễu cấp phôi rung động.

F_{ms} - lực ma sát cùng chiều, $F_{ms} = P\mu$.

Trong đó P - trọng lượng của vật.

μ - hệ số ma sát.

Lực này có chiều hướng dịch chuyển vật theo mặt phẳng lực quán tính ngược chiều.

$$i'_{qt} = \frac{P}{g}a \quad (g - \text{gia tốc trọng trường}).$$

Nếu $F_{ms} > F_{qt}$ thì vật thể chuyển dịch theo mặt phẳng. Nếu $F_{ms} < F_{qt}$ thì vật thể chuyển động ngược với mặt phẳng.

Xét các trường hợp sau:

Lực có chiều hướng dịch chuyển vật thể theo mặt phẳng.

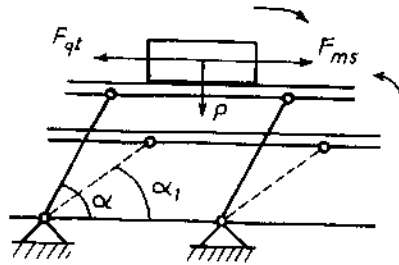
Lực quán tính ngược chiều:

$$P_{qt} = \frac{P}{g}a$$

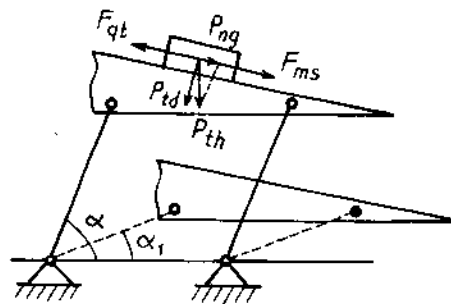
Nếu $F_{ms} > F_{qt}$ vật thể chuyển dịch theo mặt phẳng.

$F_{ms} < F_{qt}$ vật thể chuyển động ngược với mặt phẳng.

Xét trường hợp ở hình 9.9.



Hình 9.8. Quán tính và lực ma sát.



Hình 9.9. Lực quán tính và lực ma sát có chiều hướng dịch chuyển theo mặt nằm nghiêng dưới góc α .

Ta đem gắn mặt phẳng vào đầu các đòn bẩy tạo thành một kết cấu khâu bản lề. Đặt đòn bẩy nằm nghiêng một góc α so với mặt phẳng nằm ngang và cho chúng chuyển động dao động. Giả sử chuyển động sang phải (trong phạm vi giới hạn các góc α và α_1). Mặt phẳng sẽ vừa qua phải vừa hạ xuống và ngược lại.

Ta qui ước cả hai trường hợp qua phải và qua trái đều có gia tốc a . Để đơn giản ta cho rằng chuyển động này xảy ra theo hai hướng: nằm ngang và thẳng đứng, đồng thời có hai gia tốc nằm ngang và thẳng đứng tác dụng.

Do tính chất của chuyển động mặt phẳng nên lực ma sát giữa vật thể và mặt phẳng sẽ thay đổi.

Khi mặt phẳng chuyển động về phía dưới lực ma sát sẽ là:

$$F_{ms} = m (g - a_{thd}) \cdot \mu \quad a_{thd} \cdot \text{gia tốc thẳng đứng.}$$

Khi mặt phẳng chuyển động lên phía trên lực ma sát sẽ là:

$$F_{ms} = m (g + a_{thd}) \cdot \mu$$

So sánh hai phương trình trên ta thấy mặt phẳng chuyển động về phía dưới thì

gia tốc sẽ làm giảm lực ma sát và nếu $a_{\text{thđ}} > g$ thì F_{ms} là một số âm, lúc bấy giờ vật thể dưới tác động của lực quán tính sẽ rời khỏi mặt phẳng và ở lại phía sau.

Kết quả ta thấy nếu cho hệ thống chuyển động dao động nhanh thì vào những lúc mặt phẳng chuyển động về phía dưới vật thể sẽ từng bước dần dần với chuyển động ngược lại.

Theo hình 9.9 ta thấy phôi còn chịu tác dụng của trọng lượng bản thân theo hướng nằm ngang song song với mặt phẳng nghiêng.

Khi mặt phẳng nghiêng chuyển động xuống phía dưới hay phía trên, thành phần lực nằm ngang F_{ng} đều tác dụng theo cùng một hướng.

Trong trường hợp này muốn đảm bảo cho vật thể có chuyển động từ phải sang trái trên mặt phẳng nghiêng cần phải đảm bảo những điều kiện sau:

Mặt phẳng chuyển động về phía dưới $F_{ms} + F_{ng} < F_{qt}$ (phôi sẽ tách ra ở lại phía sau so với mặt phẳng chuyển động).

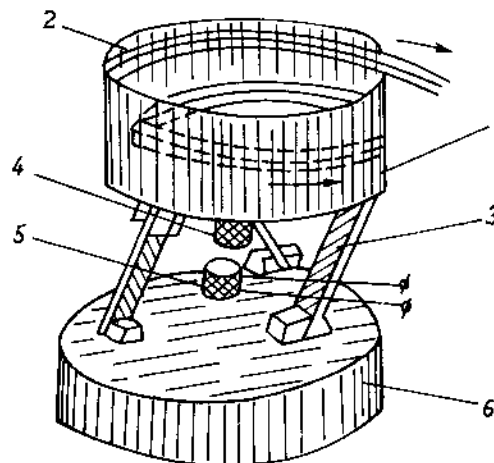
Mặt phẳng chuyển động về phía trên $F_{ms} > F_{ng} + F_{qt}$ (phôi sẽ chuyển động theo mặt phẳng).

Hai điều kiện này có thể bảo đảm cho hệ thống chuyển động dao động nhanh.

Trường hợp như hình 9.8 và 9.9 dùng cho các băng vận chuyển rung động với mặt phẳng nằm ngang.

Trường hợp 9.9 dùng cho các băng vận chuyển rung động đưa phôi từ dưới lên trên.

Hình 9.10 cho sơ đồ nguyên tắc của phễu cấp phôi một nam châm.



Hình 9.10. Sơ đồ nguyên tắc của phễu cấp phôi một nam châm.

Cốc phễu 1 đặt trên đầu ba lò xo phẳng 3. Ba lò xo này gắn trên bộ nặng 6. Bên trong cốc phễu có một đường máng 2 nằm xoắn nghiêng vòng theo máng cốc. Phôi được đổ tự do và chứa trong cốc phễu 1 có dạng hình côn định hướng ngược về phía trên nên phôi bắt buộc phải nằm sát thành cốc. Muốn chuyển động dao động người ta cho dòng điện đi qua cuộn dây của nam châm 5, nó sẽ hút khung điện 4 gắn chặt ở đáy cốc, nhờ thế cốc phễu 1 sẽ chuyển động về phía dưới một ít. Đồng thời nhờ tác dụng uốn của lò xo phẳng, cốc 1 còn chuyển động quay theo mũi tên khi tiết diện lò xo về vị trí cũ, đồng thời bát phễu quay nhẹ theo hướng ngược lại một ít và chuyển động về phía trên một ít.

Nếu cho dòng điện xoay chiều đi qua nam châm điện thì cốc phễu 1 sẽ chuyển động nhanh và phôi sẽ chuyển động từ dưới lên trên theo máng. Muốn có lực kéo khoẻ hơn người ta làm ba nam châm đặt ở ba góc. Góc nghiêng của các lò xo thường trong khoảng $60^\circ + 70^\circ$. Góc nghiêng của máng dẫn phôi từ $2,5^\circ + 4^\circ$. Dòng điện xoay chiều có chỉnh lưu Xelen một chu kỳ; tần số thường là 50 Hz; tương ứng với một dao động của cốc phễu thì phôi dịch chuyển từ $2 + 3$ mm nghĩa là $v = 7 + 8$ [m/ph].

Cốc chứa phôi dao động từ 3000 + 3500 lần trong một phút (vận đi, vận lại, lắc). Mỗi lần dao động cốc tụt xuống $0,02 + 0,05$ mm, do quán tính nên phôi không tụt xuống ngay với cốc, sau khi tụt xuống lò xo đẩy cốc lên vị trí cũ, phôi được đưa lên một tí trong không gian dao động, nhiều lần như vậy phôi sẽ bò dần lên theo đường xoắn ốc chung quanh thành cốc phễu.

Năng suất Q được tính theo công thức sau:

$$Q = \frac{V_0 \cdot 60}{L_f} k \text{ (phôi/phút)}$$

V_0 - tốc độ chuyển dịch của phôi trong máng dẫn (mm/s).

L_f - kích thước phôi đo dọc theo chiều máng dẫn (mm).

k - hệ số lấp đầy.

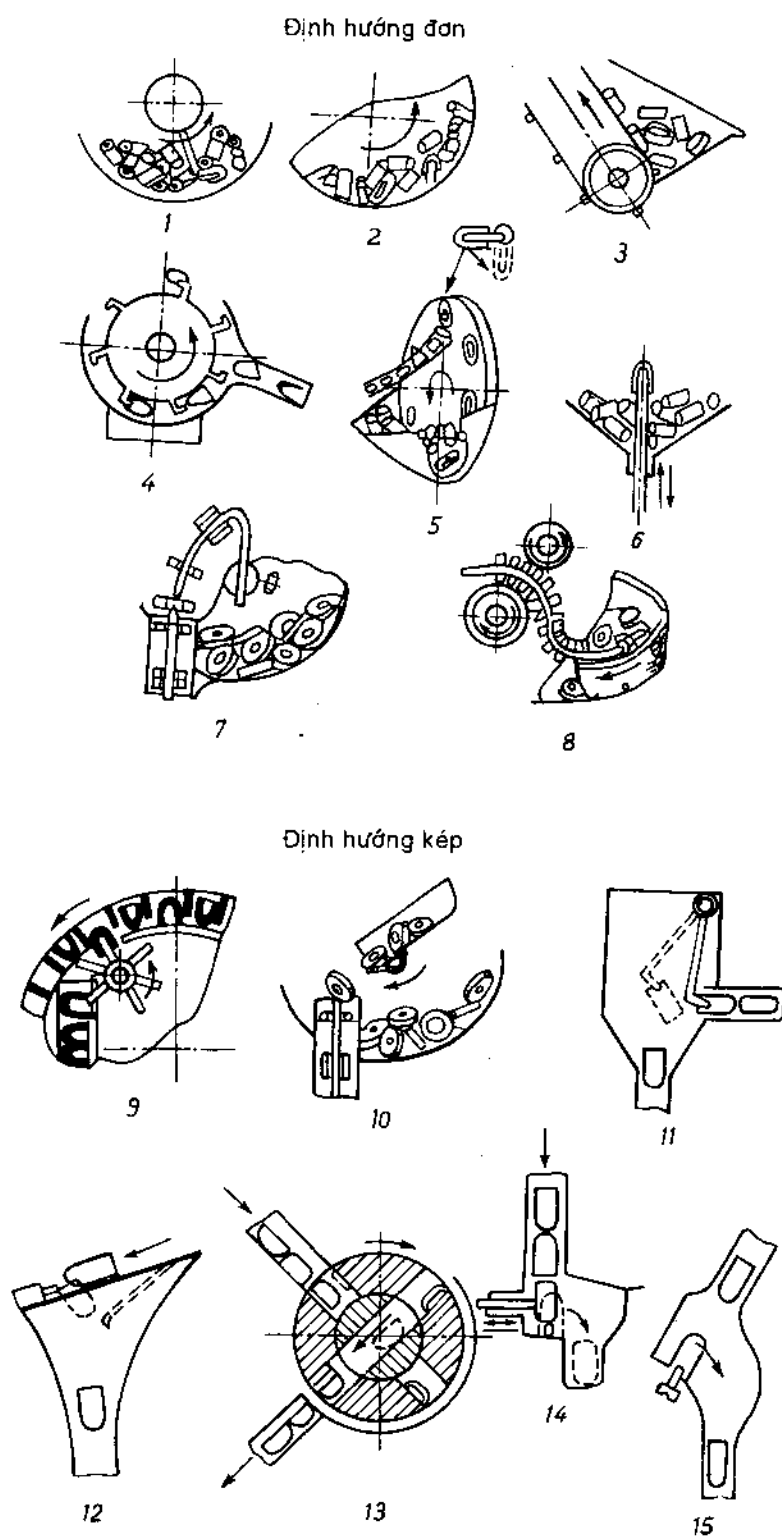
Nếu gọi t là bước của rãnh xoắn, θ là góc nghiêng và D đường kính của phễu ta có:

$$t = \pi \cdot D \cdot \tan \theta$$

Các bảng từ 9.3 + 9.8 cung cấp các loại ổ cấp phôi của thế giới dùng trong chế tạo máy.

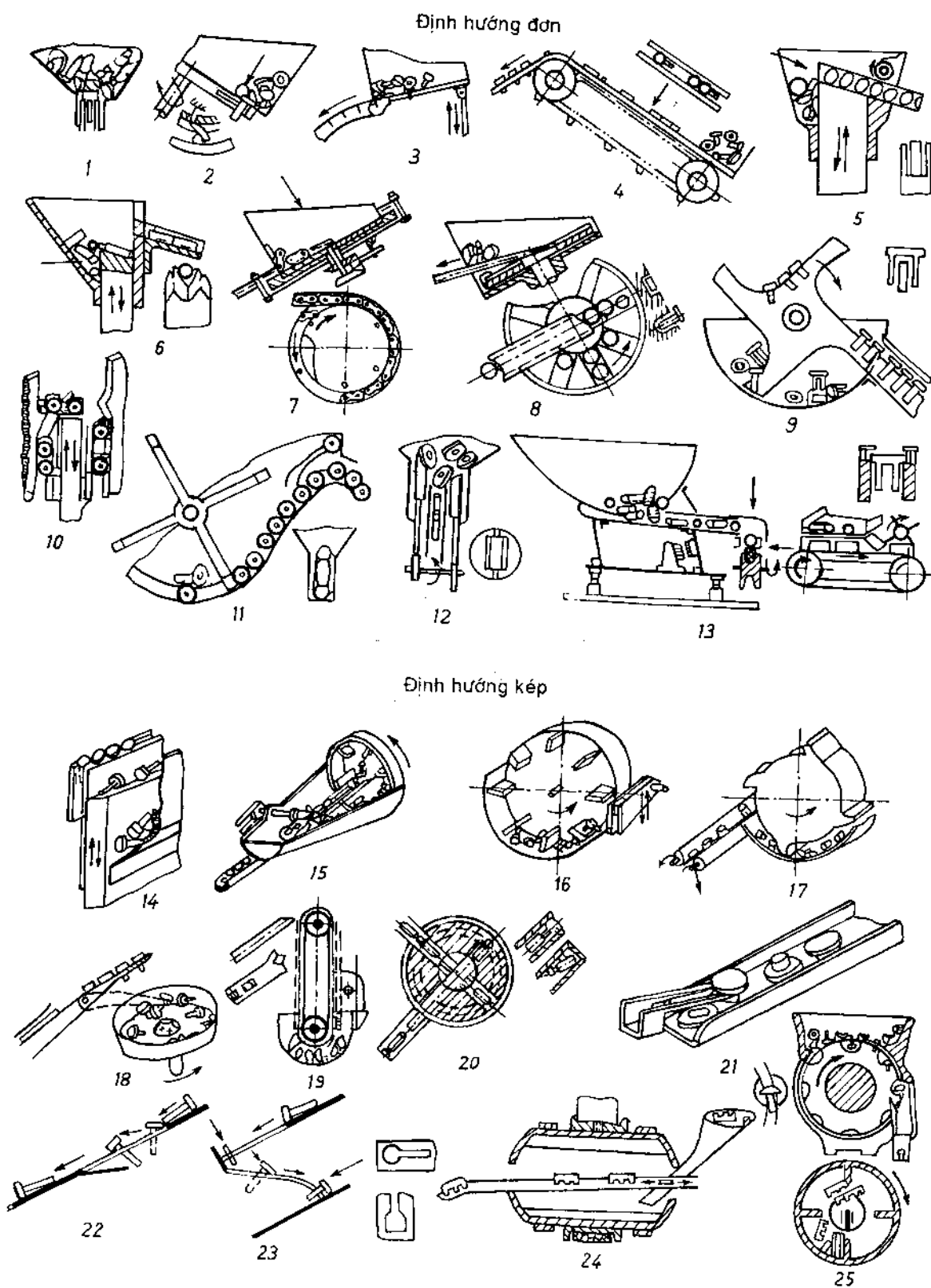
Bảng 9.3.

Nhóm I - dùng vấu và chốt



Bảng 9.4.

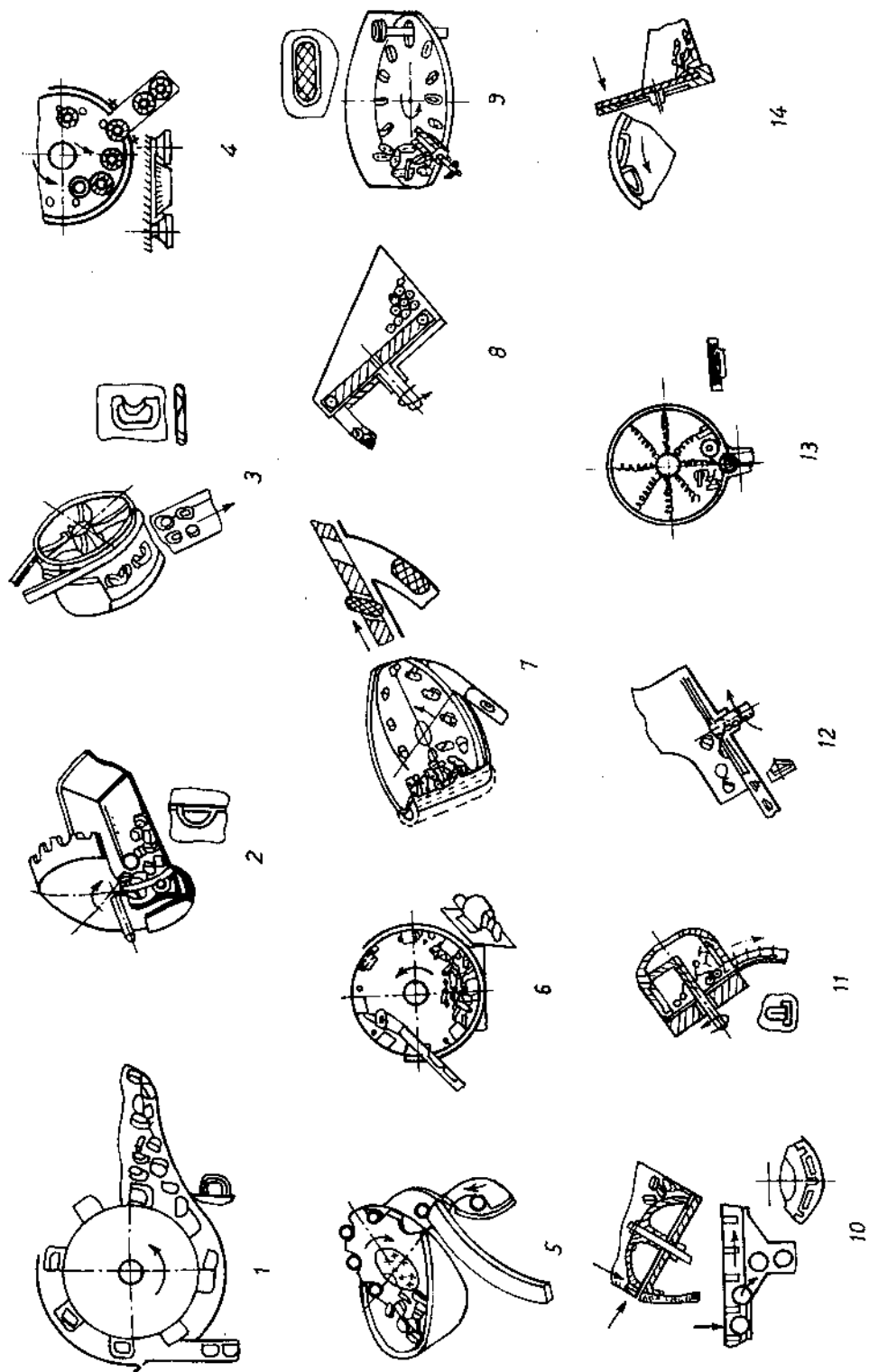
Nhóm II - dùng khe



Bảng 9.5.

Nhóm III - dùng rãnh theo hình dáng của phôi

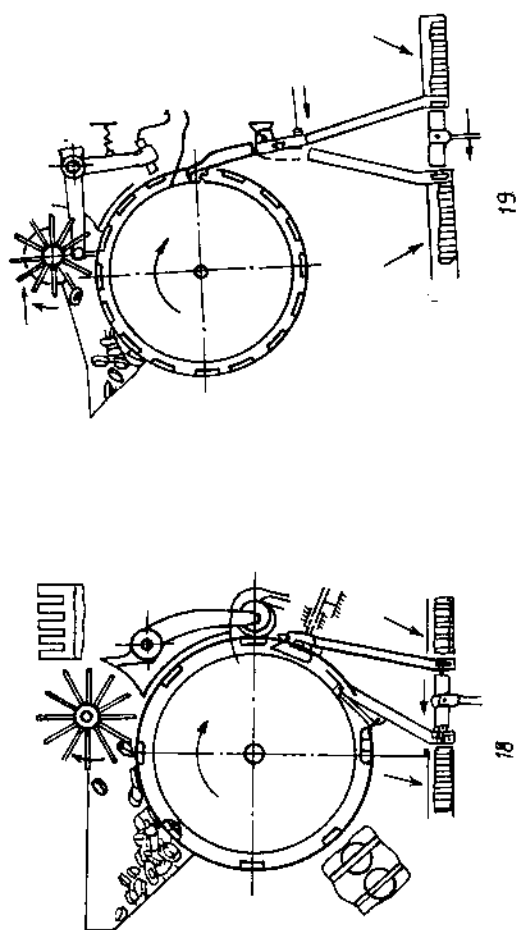
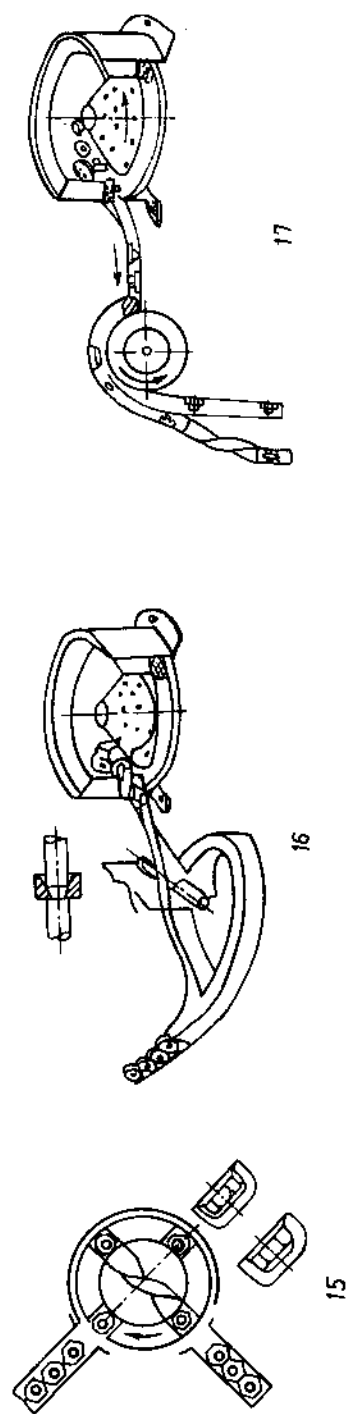
Định hướng đơn



Bảng 9.5.

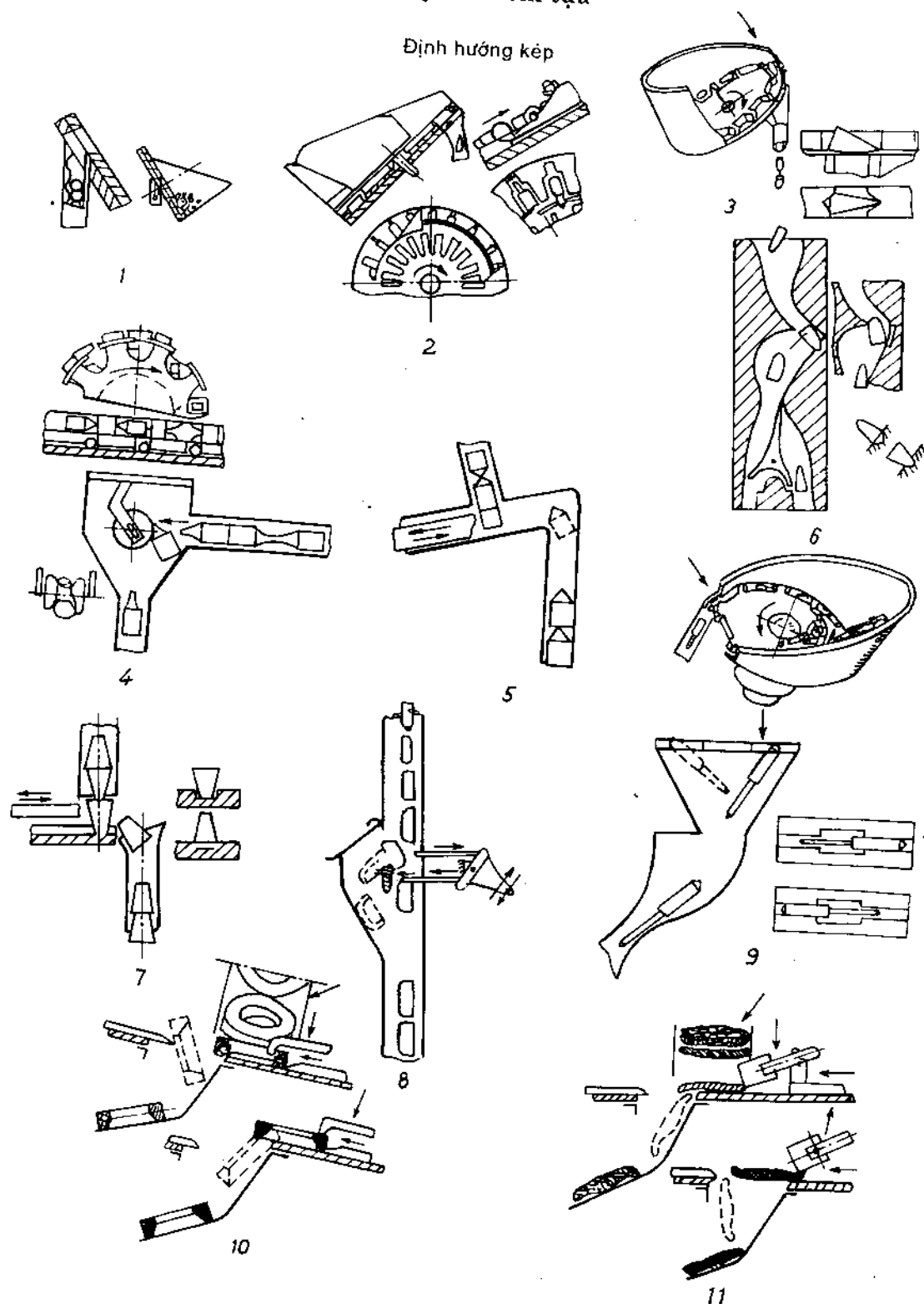
Nhóm III - dùng rãnh theo hình dáng của phôi (tiếp)

Định hướng kép



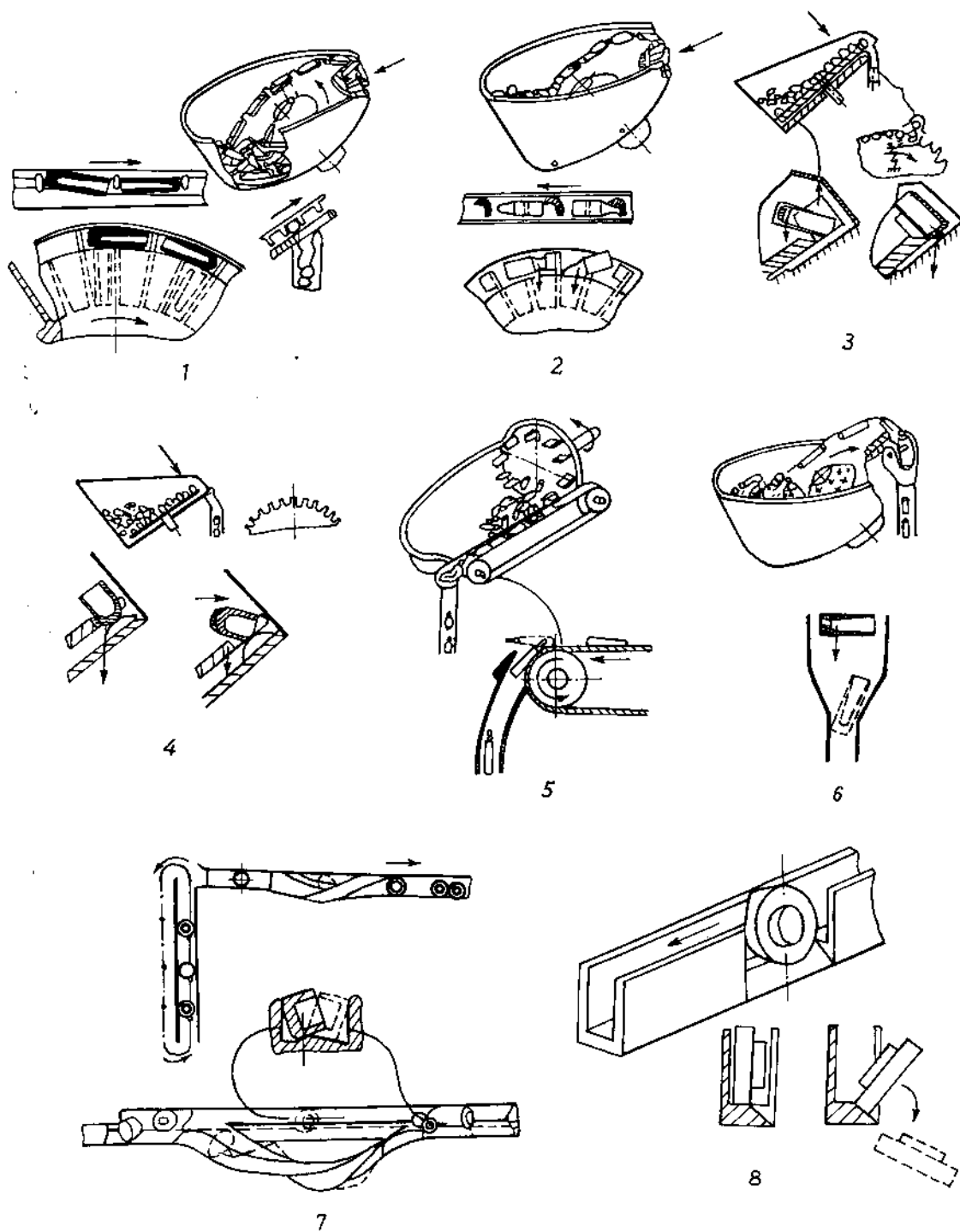
Bảng 9.6.

Nhóm IV - theo phương pháp quay và điểm tựa



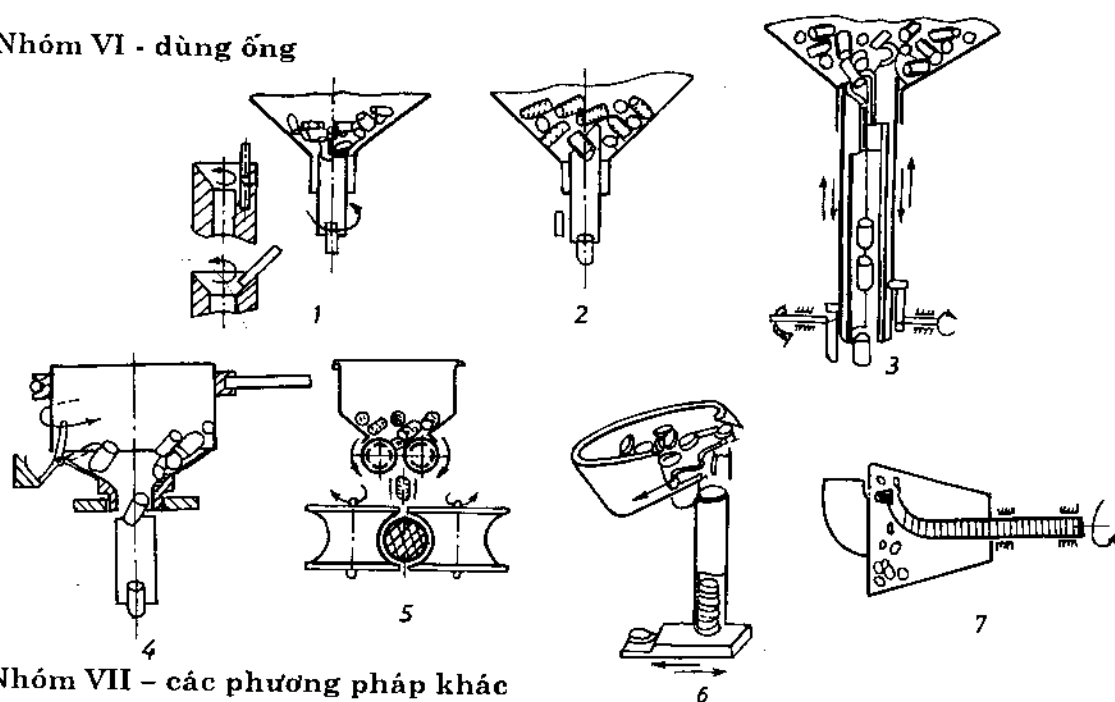
Bảng 9.7.

Nhóm V - theo phương pháp trọng lượng của phôi

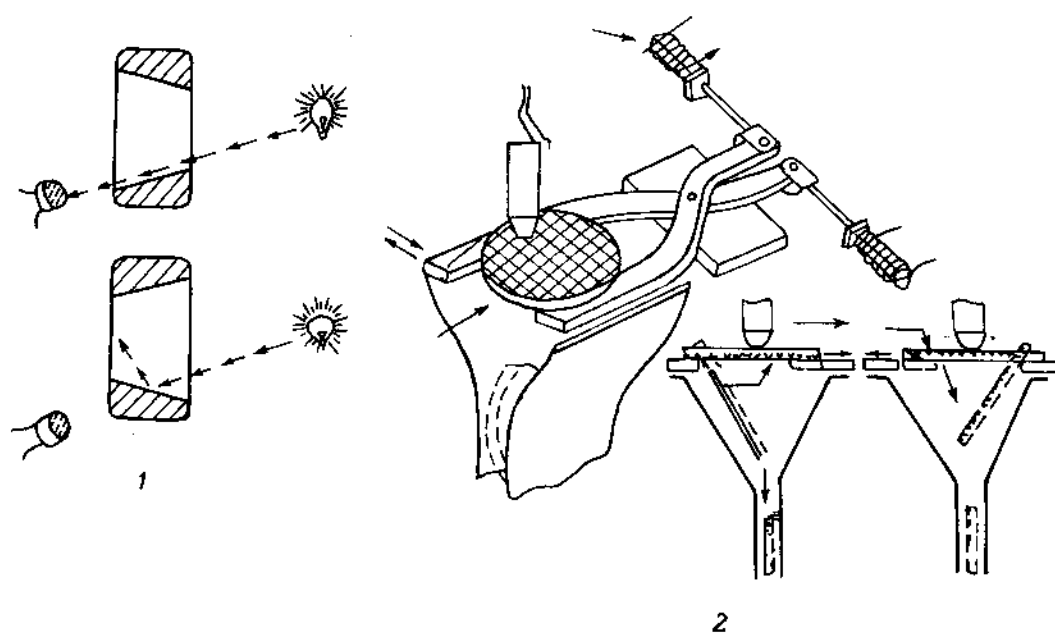


Bảng 9.8.

Nhóm VI - dùng ống



Nhóm VII - các phương pháp khác



9.5. DÙNG Ồ CẤP PHÔI ĐỂ CKH VÀ TĐH TRÊN MỘT SỐ MÁY CÔNG CỤ

9.5.1. CKH và TĐH trên máy tiện vạn năng

Như ta đã biết, máy tiện vạn năng thường chiếm từ 30 ÷ 40% máy công cụ nói chung trong nhà máy. Đặc biệt đối với những nhà máy sản xuất loại vừa và nhỏ thì số phần trăm máy tiện vạn năng càng bé.

Trong công nghiệp chế tạo máy thời gian phụ chiếm từ 20 ÷ 30% (có trường hợp nhiều hơn) của thời gian công tác trong một ca.

Thời gian phụ được đặc trưng bởi những yếu tố sau:

- Điều khiển máy 36%.
- Kẹp, tháo phôi 25%.
- Thay dụng cụ cắt 11%.
- Kiểm tra kích thước chi tiết 25%.

9.5.2. Thiết bị CKH và TĐH trên máy tiện

Thiết bị CKH và TĐH trên máy tiện có thể chia ra những phần sau:

- Thiết bị dùng để kẹp phôi và lấy chi tiết sau khi gia công.
- Thiết bị để điều khiển máy.
- Thiết bị để kiểm tra quá trình gia công.
- Thiết bị để tự động hóa chu trình gia công.
- Thiết bị để biến máy vạn năng thành máy bán tự động hay tự động chuyên dùng bằng cách TĐH toàn bộ chu trình gia công.
- Thiết bị để mở rộng khả năng công nghệ của máy tiện.

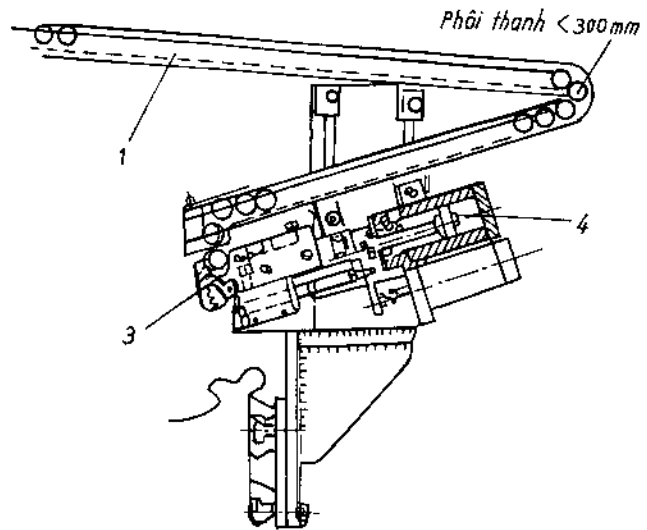
Bảng 9.9 so sánh hiệu quả khi dùng những thiết bị trên, thời gian phụ sẽ giảm, % (phần trăm).

Bảng 9.9

Tên thiết bị	Sản xuất hàng loạt nhỏ	Sản xuất loạt vừa và nhỏ
Cơ khí hóa việc ra/vào nhanh dụng cụ cắt	10 ÷ 20	30 ÷ 32
Cơ điện phối hợp trong các thước chia độ	5 ÷ 10	25 ÷ 20
Thiết bị đóng/mở máy	8 ÷ 15	20 ÷ 30
Thiết bị chép hình cơ khí	8 ÷ 15	40 ÷ 50
Chấn phôi	8 ÷ 15	30 ÷ 40
Dòng khí ép khí dịch chuyển tự động	8 ÷ 10	12 ÷ 18
Thiết bị tự động hóa chu kỳ gia công	8 ÷ 10	50 ÷ 65

9.5.3. Tự động hóa bằng cách dùng máng cấp phôi trên máy tiện vạn năng

Máng này dùng với phôi dài không quá 300 mm, thường thiết bị được cố định trên thân máy. Thiết bị hình 9.11 bao gồm: máng 1 dùng để sắp phôi, thanh đẩy 3, lắp trên cần pittông 4 để đẩy phôi đến nơi gia công. Thanh đẩy 4 có thể dùng dầu ép, khí ép, cơ cấu cần cam và lò xo, thanh răng, bánh răng, v.v. Ngoài ra, với loại máng cấp phôi như hình 9.11 có thể dùng cho những loại máy sau:



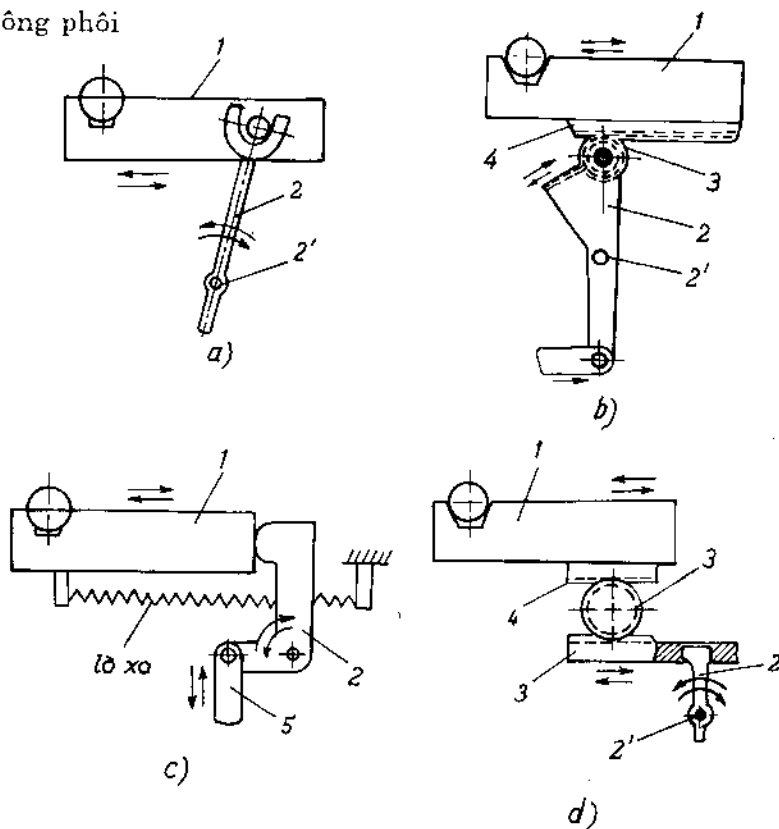
Hình 9.11. Máng cấp phôi trên máy tiện vạn năng.

- Máy tiện tự động 1 trục và nhiều trục để gia công phôi đơn chiếc.

- Cấp phôi cho máy mài tròn ngoài, mài vô tâm và mài trục bậc, máy cán ren, v.v...

- Loại thực hiện hành trình kép bao gồm (hình 9.12):

Phần đẩy 1 được thực hiện vát nghiêng để ôm phôi, cần lắc 2 quay quanh trục 2' của nó (hình 9.12a). Có loại dùng thêm thanh



Hình 9.12. Cấp phôi thực hiện hành trình kép.

kéo 5 và lò xo 4 (hình 9.12c) có loại dùng bánh răng trung gian 3 thay lò xo và thành kéo đẩy 5 như (hình 9.12b và 9.12d).

9.6. Ổ CẤP PHÔI DÙNG CHO MÁY MÀI

Những chi tiết thường gia công trên máy mài là: trục ngắn, trục dài, chốt, con lăn, vòng chắn, vòng đệm, trục bậc, v.v... Nhất là mài tròn ngoài trên máy mài vô tâm lại càng áp dụng phổ biến cơ cấu cấp phôi trong quá trình CKH tiến lên TĐH.

Trước tiên ta xét trường hợp đơn giản sau đây:

Ổ cấp phôi dùng cho máy mài vô tâm (mài tròn ngoài), phôi là dạng chốt từ thép cán.

Điều quan trọng nhất ở đây là chọn ổ cấp phôi thế nào cho đúng các thông số để máng làm việc liên tục. Muốn thế máng dẫn phôi phải chia làm 3 phần: phần máng nghiêng, phần cung tròn và phần nằm ngang. Giả sử, mỗi phần đều chứa n phôi với trọng lượng riêng G . Nhiệm vụ của ổ phôi ở phần máng nghiêng và phần cung tròn phải đủ bảo đảm cho phôi ở phần nằm ngang dịch chuyển.

Có các thông số sau, hình 9.13k:

P_H - lực dịch chuyển tác động trên phần A (kG).

P - lực dọc trục của phôi (kG).

F_{11} - lực ma sát (kG).

N - lực tác dụng vào máng dẫn (kG).

G - trọng lượng riêng của phôi (kG).

n - số phôi nằm trong mỗi phần A, B, C.

γ - góc nghiêng của máng ở phần A (độ).

f_H - hệ số ma sát ở phần A

f_K - hệ số ma sát ở phần B

P'_{11} - lực dịch chuyển ở phần B có kể đến ma sát (kG).

b_1, b_2, \dots, b'_n - lực tác dụng vào máng ở phần B xác định theo sơ đồ tính toán cụ thể phụ thuộc vào $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ (kG).

a_1, a_2, \dots, a_n - lực dịch chuyển tác dụng vào phôi ở phần B xác định theo sơ đồ tính toán cụ thể phụ thuộc vào $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ (kG).

μ^n - hệ số giảm lực dịch chuyển xác định theo bảng phụ thuộc vào bán kính cong của máng và chiều dài phôi.

P_2 - lực dịch chuyển ở phần C (kG).

P_o - tổng lực dịch chuyển ở phần B (kG).

f_2 - hệ số ma sát ở phần nằm ngang.

Lực dịch chuyển của phôi tác dụng lên phần A là:

$$P_H = P \cdot f_H = G \cdot n \cdot \sin \gamma - G \cdot n \cdot \cos \gamma \cdot f_H$$

$$F_H = f_H \cdot N$$

Lực tác dụng lên máng: $N = G \cdot n \cdot \cos \gamma$

Toàn bộ lực này sẽ tác dụng lên phần cong B. Do đó tính lực dịch chuyển ở phần cong B như sau:

$$P'_H = P_H \cdot \mu^n \cdot (b'_1 + \dots + b'_n) f_k = G \cdot n \cdot \mu^n (\sin \gamma - \cos \gamma \cdot f_H) \cdot (b'_1 + b'_2 + \dots + b'_n) f_k$$

Từ đây có thể tìm được số phôi n nằm trên phần A là:

$$n = \frac{P'_H}{G \cdot \mu^n (\sin \gamma - \cos \gamma \cdot f_H)}$$

Tổng lực dịch chuyển ở phần B là:

$$P_o = P'_H + P_K$$

Ở đó $P_K = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) \mu^n \cdot (b'_1 + b'_2 + \dots + b'_n) f_k$.

Để phôi dịch chuyển ở phần nằm ngang điều kiện cần thiết là: $P_o > f_2$.

Lực dịch chuyển ở phần C là: $P_2 = P_o - f_2$.

Để ổ cấp phôi làm việc ổn định, theo kinh nghiệm thường là:

$$P_o \geq 4f_2$$

$$F_2 = G \cdot n \cdot f_2$$

Hệ số μ^n giảm lực dịch chuyển khi bán kính cong của máng nằm trong góc 90° , cho trong bảng 9.10, và trong góc 180° cho trong bảng 9.11.

Bảng 9.10

μ^n ($n=1$)	$\frac{R}{L}$	Số lượng phôi nằm trong phần cong	Số lượng bán kính cong nằm trong góc 90° (phụ thuộc số phôi)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	1	1	0,5	0,25	0,125	0,0625	-	-	-	-	-
0,875	2	3	0,67	0,45	0,3	0,2	-	-	-	-	-
0,945	3	5	0,75	0,56	0,42	0,32	0,24	0,2	-	-	-
0,969	4	6	0,83	0,69	0,58	0,49	0,4	0,34	0,28	0,23	0,2

Chú ý: μ - hệ số giảm lực dịch chuyển của một chi tiết.

Hệ số μ^n giảm lực dịch chuyển khi bán kính cong nằm trong góc 180° cho ở bảng 9.11.

Bảng 9.11

μ^n	$\frac{R}{L}$	Số lượng phôi nằm trong phần cong	Số lượng bán kính cong (phụ thuộc số phôi) nằm trong góc 180°				
			1	2	3	4	5
0,5	1	2	0,25	0,062	-	-	-
0,875	2	6	0,45	0,2	-	-	-
0,945	3	10	0,56	0,32	1,2	-	-
0,969	4	12	0,69	0,49	0,34	0,23	0,2

Ví dụ, cần thiết kế một ổ cấp phôi có phần nghiêng và cong với số phôi ở phần nằm ngang $n_{ng} = 10$ chiếc, chiều dài phôi: $l = 50$; trọng lượng $G = 0,5$ kG.

Giả sử ta chọn: $R = 2.l = 2.50 = 100$ mm.

Góc nghiêng $\gamma = 75^\circ$.

Hệ số ma sát ở phần nằm ngang: $f_2 = 0,3$.

Hệ số ma sát ở phần cong $f_K = 0,2$.

Hệ số ma sát ở phần nghiêng $f_{11} = 0,1$.

Hệ số giảm lực dịch chuyển μ^n sẽ tra được trong bảng 9.10 và 9.11. Theo điều kiện đã chọn $R = 2.l$ bán kính cong 90° số phôi nằm trong phần cong là $n = 3$.

$$\mu^n = 0,67$$

Lực dịch chuyển trong B cần thỏa mãn điều kiện:

$$P_o \geq 4F_2$$

$$F_2 = G.n.f_2$$

vậy
$$p = 4.G.n.f_2 = 4.0,5.10.0,3 = 6 \text{ kG}$$

$$P_K = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) \mu^n \cdot (b_1 + b_2 + \dots + b_n) f_K$$

Tìm các trị số a và b theo sơ đồ tính toán (theo G và γ , hình 9.13A):

$$P_K = (0,48 + 0,38 + 0,14).0,67 \cdot (0,14 + 0,35 + 0,48).0,2$$

$$P_K = 0,56 \text{ kG} = P$$

Lực dịch chuyển ở phần A tác dụng lên phần B là:

$$P'_H = P_o \cdot P$$

$$P'_H = 6 \cdot 0,56 = 5,54 \text{ kG}$$

Coi như không để ý đến lực ma sát ở phần cong ta có thể xác định được số phôi nằm trên đoạn nghiêng A là:

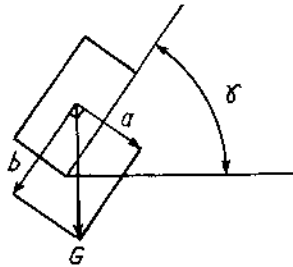
$$n = \frac{P'_H}{G \cdot \mu^H (\sin \gamma - \cos \gamma \cdot f_{H1})} =$$

$$= \frac{5,44}{0,5 \cdot 0,67 \cdot (0,966 - 0,268 \cdot 0,1)} = 17 \text{ chi tiết}$$

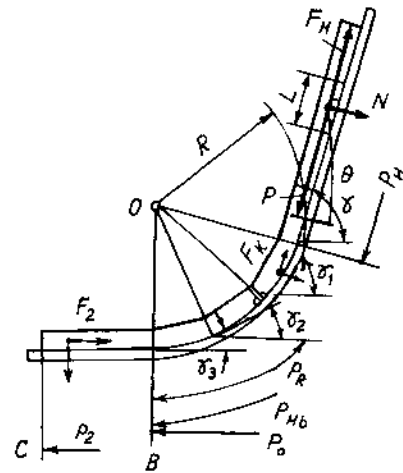
Chiều dài phần máng nghiêng A là:

$$L = l \cdot n = 50 \cdot 17 = 850 \text{ mm}$$

- Đối với những chi tiết có đường kính từ $5 \div 20 \text{ mm}$, chiều dài $l = 70 \div 200 \text{ mm}$ thường nên dùng ổ cấp phôi có hình dạng như hình 9.13.



Hình 9.13A. Sơ đồ tính a và b.



Hình 9.13B.

Phôi được xếp vào ổ 1. Do trọng lượng riêng bản thân nên phôi dịch chuyển xuống máng 3 hình chữ V. Do sự tính toán trước nên khi bánh dẫn A quay sẽ làm cho khớp cacđăng 5 quay qua hệ thống lò xo. Làm cam thùng B quay tác dụng con lăn 6 qua hệ thống cánh tay đòn và lò xo thanh đẩy 4 sẽ đẩy phôi vào đá mài.

Khi thiết kế cần chú ý đường cong của cam sao cho tốc độ tiến của cần đẩy $\varphi = 1,1 \div 1,25$ tốc độ chạy dao dọc của đá mài. Còn chiều dài lớn nhất (max) của cần φ dịch chuyển bằng $0,5 \div 0,8$ chiều dài chi tiết cần gia công.

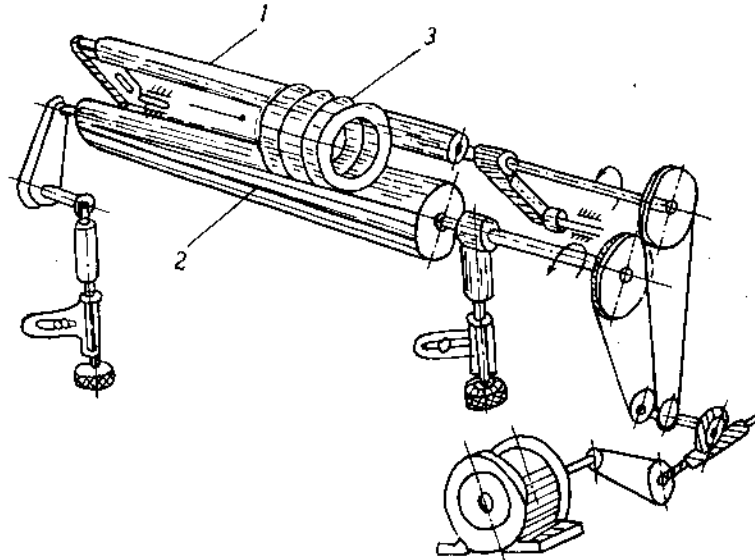
Đối với những vòng đệm có chiều cao từ $0,25 \div 0,5$, đường kính thường từ 50 mm trở lên, thường dùng ổ cấp phôi theo dạng trục hình 9.14.

Ổ cấp phôi là hai trục 1 và 2 từ thép tôi hay gang cũng được độ bóng bề mặt phải đạt $(\nabla 8 \div \nabla 9) \approx \sqrt[0,62]{\div \sqrt[0,31]{}}$.

Trục 1 hình trụ dùng để giữ chi tiết nên đặt nằm ngang song song với đường dịch chuyển của phôi 3. Trục 2 hình côn dùng để dẫn phôi dịch chuyển và phải đặt

đầu bé về phía gần đá mài.

Đầu bé của trục 2 bằng đường kính của trục 1. Còn độ côn phụ thuộc vào đường kính phôi gia công và vật liệu phôi cũng như vật liệu trục (hệ số ma sát).



Hình 9.14. Ổ cấp phôi dạng trục.

9.7. Ổ CẤP PHÔI DÙNG CHO NHỮNG CHI TIẾT TRỤC BẠC

Thông thường chạy dao khi mài chia làm 2 loại:

- Chạy dao hướng trục (song song với trục đá mài).
- Chạy dao hướng kính (vuông góc với trục đá mài).

Loại chạy dao hướng trục như ta đã nghiên cứu ở trên. Ở đây chủ yếu nghiên cứu loại chạy dao hướng kính. Chi tiết cần mài có chiều dài thường bé hơn 80 mm. Đá mài dẫn (bánh dẫn) có rãnh (không tròn) dọc trục. Rãnh dùng để đưa phôi ra ngoài khi mài xong.

Đối với những chi tiết quá dài (lớn hơn 80 mm) và đường kính của các bậc khác nhau quá lớn thì người ta không dùng đá mài bánh dẫn có rãnh. Do đó muốn lấy phôi ra ngoài ta dùng bộ phận đẩy chuyển động ngược với chiều của phôi. Trên bánh mài có rãnh người ta làm đường Acsimet với độ nâng từ 0,5 ÷ 1,0 mm. Đó là khoảng hở để bỏ phôi vào là lượng dư cần mài (hình 9.15).

+ Đoạn làm việc sơ bộ A: L_A - chiều dài cung A tính theo công thức:

$$L_A = \frac{\pi \cdot d_B \cdot n \cdot t_1}{60}$$

Ở đó: d_B - đường kính bánh dẫn (mm).

n - số vòng quay/phút của bánh dẫn.

t - thời gian bỏ phôi vào (giây).

+ Đoạn làm việc chủ yếu B của bánh dẫn: chiều dài L_B của cung A:

$$L_B = \pi d_o \frac{h}{S_n}$$

Ở đó: d_o - đường kính chi tiết cần gia công (mm).

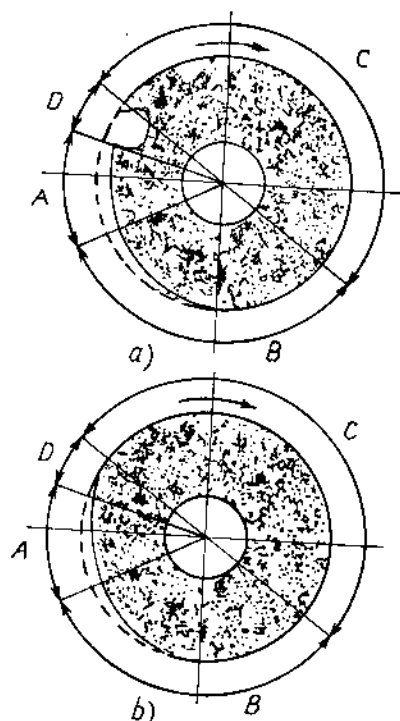
h - lượng dư cần mài (mm).

S_n - lượng chạy dao ngang sau 1 vòng quay của phôi (mm/vòng).

+ Đoạn C cần bảo đảm độ bóng cao.

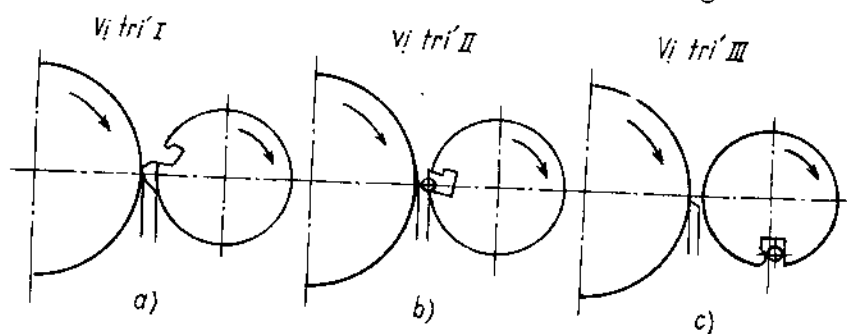
Chiều dài L_C xác định theo kinh nghiệm, phụ thuộc vào độ bóng bề mặt chi tiết gia công và độ chính xác yêu cầu.

+ Đoạn D đưa phôi ra ngoài có thể làm theo kiểu rãnh (hình 9.15a) hay giảm đường kính (hình 9.15b).



Hình 9.15. Ổ cấp phôi dùng cho trục bậc

Hình 9.16 cho ta thấy các vị trí làm việc của máy mài gồm:



Hình 9.16. Vị trí làm việc của máy mài.

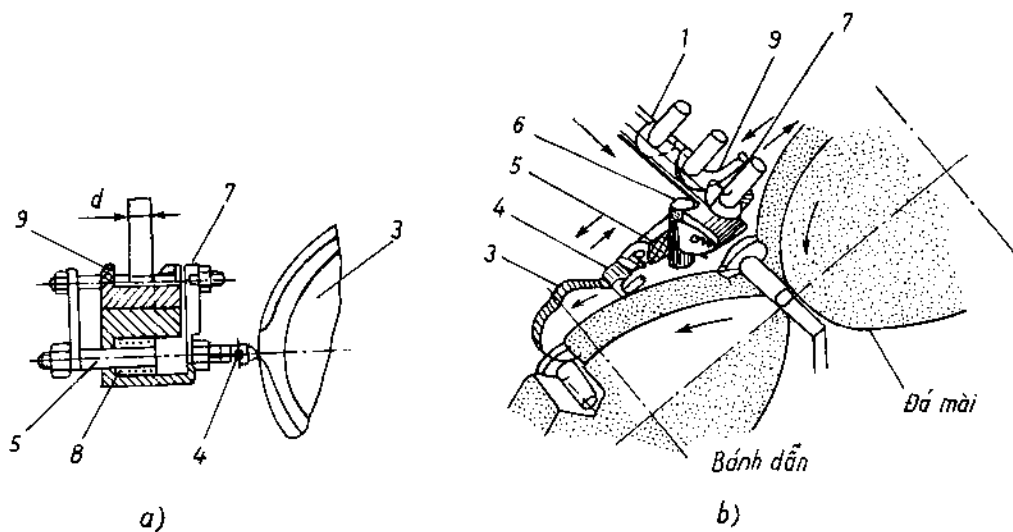
- Vị trí I: bỏ phôi vào.

- Vị trí II: kết thúc chu trình mài.

- Vị trí III: cho phôi ra ngoài.

Sơ đồ mài chi tiết có tán trên đầu cho trên hình 9.17.

Ở đây chi tiết là hình trụ tròn có tán trên đầu. Dùng tay sắp phôi vào ổ (đầu phôi) xuống dưới phôi dịch chuyển do tác dụng của trọng lượng bản thân phôi.



Hình 9.17. Mài chi tiết có tán trên đầu.

Cần có kiểm tra tự động để kiểm tra đường kính d của phôi. Nếu d quá lớn không nằm trong phạm vi cho phép thì cơ cấu có thể liên hệ với phần điện để tắt máy, hay làm một cơ cấu liên hệ ngược bằng cơ không cho chi tiết đi xuống đá mài, hay điều chỉnh đai ốc, v.v... Phía dưới ổ là cơ cấu cho phôi xuống từng chiếc một bằng cách lắp cam 3 cùng một trục với bánh dẫn, làm con lăn 4 dịch chuyển thanh răng 5, bánh răng 6 và thanh răng đối diện 7. Khi cam đến đỉnh cao nhất thì lò xo 8 bị ép lại (hình 9.17) cần 9 lùi ra, thanh răng 7 tiến vào hất phôi rơi xuống đá mài. Khi cam 3 hạ xuống lò xo đẩy cần 9 qua phải, thanh răng 7 lùi ra, thanh răng 5 tiến vào lấy chi tiết tiếp theo.

Chương 10

ĐƯỜNG DÂY TỰ ĐỘNG

10.1. VAI TRÒ CÁC ĐƯỜNG DÂY TỰ ĐỘNG (ĐDTD) TRONG NGÀNH CHẾ TẠO MÁY

Muốn tăng không ngừng năng suất lao động phải tiến hành tự động hóa (TĐH). TĐH các phương tiện sản xuất cơ khí có nhiều bước. Lúc đầu TĐH một bộ phận trong máy, sau tiến lên TĐH toàn bộ một máy. Ở các bước này việc vận chuyển phôi liệu và bán thành phẩm giữa các máy thực hiện bằng phương tiện thủ công hay cơ khí hóa. Tiến lên bước nữa, việc vận chuyển được TĐH hoàn toàn. Các phương tiện tự động nối liền các máy với nhau theo qui trình công nghệ đã định và như vậy ta có ĐDTD.

Nhờ quá trình gia công trên ĐDTD liên tục và giảm được nhiều loại tổn thất ngoài chu kỳ, cho nên năng suất lao động tăng lên rõ rệt.

Trong các lĩnh vực công nghiệp mà sản phẩm mang tính chất đồng nhất, liên tục, dễ vận chuyển (thể lỏng, thể sợi, thể bột, v.v...) thì việc TĐH cả dây chuyền sản xuất dễ dàng hơn những ngành công nghệ mà sản phẩm rời rạc, không đồng nhất. Điều ấy làm cho chúng ta dễ hiểu vì sao tất cả các ngành công nghiệp nhẹ, hóa chất, thực phẩm, v.v... thì đường dây sản xuất tự động lại phát triển sớm, với diện rộng và qui mô lớn.

Chế tạo máy là một trong những ngành mà hầu hết sản phẩm đều ở thể rời rạc, ít đồng nhất. Vì thế TĐH các quá trình sản xuất liên tục trong ngành cơ khí chỉ bắt đầu và phát triển ngày càng mạnh từ những năm bốn mươi của thế kỷ XX.

Hiện nay ở các nước tiên tiến đã có hàng nghìn ĐDTD. Trong ngành cơ khí đã có đường dây gia công cắt gọt, nhiệt luyện, xử lý bề mặt, lắp ráp, dập kim loại, v.v... Những đường dây này có tính chất vạn năng và mức độ TĐH không nhanh. Có đường dây chỉ để chế tạo một sản phẩm nhất định, ví dụ, gia công vỏ hộp một loại động cơ đốt trong. Có đường dây lớn, trở thành phân xưởng tự động, xí nghiệp tự động, có thể điều chỉnh để gia công cả (gam) chi tiết phức tạp với kiểu cỡ gần như nhau, ví dụ, trục, bánh răng, pittông, ổ bi, v.v..., từ khâu đưa phôi liệu vào cho đến lúc bao gói hay chuyển thành phẩm này sang đường dây phân đoạn khác.

Tuy các ĐDTD trong ngành cơ khí phức tạp, đắt tiền, lâu hoàn vốn, nhưng

chúng là những đường dây chế tạo ra chủ yếu các phương tiện sản xuất và năng suất của chúng là năng suất thuộc tuyến 1. Chúng có tính chất quyết định cho sự phát triển kinh tế hơn là các đường dây của các ngành khác, cho nên số ĐDTĐ cơ khí ngày càng tăng nhanh và đưa lại hiệu quả chung rất lớn.

10.2. ĐẶC ĐIỂM VÀ PHÂN LOẠI ĐƯỜNG DÂY TỰ ĐỘNG

10.2.1. Đặc điểm

ĐDTĐ có những đặc điểm sau:

* ĐDTĐ là một hệ thống thiết bị để gia công một hoặc vài loại sản phẩm nhất định.

* Hệ thống thiết bị này tự động thực hiện các nhiệm vụ gia công theo quá trình công nghệ đã định, nó chỉ cần người điều chỉnh và kiểm tra.

* Nguyên vật liệu hay bán thành phẩm lần lượt dời chỗ theo nhịp sản xuất từ vị trí gia công này đến vị trí gia công khác, ở những nơi đẩy phôi liệu hay bán thành phẩm được kẹp chặt và định vị riêng bản thân nó hay với đồ gá mang nó.

Những đặc điểm này là điều kiện cần và đủ để phân biệt ĐDTĐ trong ngành cơ khí với những hệ thống thiết bị khác.

10.2.2. Phân loại

ĐDTĐ có nhiều hình thức và kết cấu khác nhau tùy theo nhiệm vụ gia công, mức độ TĐH và điều kiện làm việc cụ thể. Từ đó có hai cách phân loại như sau:

* Theo dạng phôi liệu và sản phẩm (xem bảng 10.1).

* Theo sự bố trí hệ thống vận chuyển và trữ phôi (xem bảng 10.2).

Bảng 10.1. Chọn ĐDTĐ theo dạng phôi liệu và sản phẩm

Sản phẩm	Phôi liệu ban đầu		
	Từng chi tiết	Từng suất	Liên tục
Từng chi tiết	I- ĐDTĐ gia công từng chi tiết (ốc, vít, bánh răng, trục, v. v..)	IV- ĐDTĐ gia công phôi liệu bột hay nhão, dẻo (bánh, đá mài, kẹo)	VII- ĐDTĐ gia công phôi liệu dạng lỏng hay lá (chai, lọ, thủy tinh, nắp hộp, đinh, in sách, báo)
Từng suất	II- ĐDTĐ nấu, luyện kim loại	V- ĐDTĐ chế biến thực phẩm (bánh nướng, kem, v.v..)	VIII- ĐDTĐ chia suất chất lỏng, chất bột (rượu, gạo, đường, v.v..)
Liên tục	III- ĐDTĐ gia công các sản phẩm dẻo, bột hay rời... (sợi, chất dẻo, giấy)	VI- ĐDTĐ gia công các sản phẩm dài (dây chuyền, xích, dây cáp vải, v.v...)	IX- ĐDTĐ gia công các sản phẩm hay nguyên liệu dài liên tục (cuốn ống thép)

Bảng 10.1. Chọn ĐDTĐ theo cách vận chuyển giữa các máy

Loại ĐDTĐ	Hệ thống vận chuyển giữa các máy		
	Vận chuyển dọc không có chuyển ngang	Vận chuyển dọc có chuyển ngang	Có ổ trữ phôi
Nối tiếp			
Song song			
Song song-nối tiếp			

10.3. ĐIỀU KIỆN VÀ NHIỆM VỤ THIẾT KẾ CHẾ TẠO ĐDTĐ

10.3.1. Điều kiện thiết kế ĐDTĐ

Để thiết kế ĐDTĐ có hiệu quả cần những điều kiện sau đây:

1) *Dạng sản xuất phải là hàng loạt, hàng khối:*

ĐDTĐ phức tạp, đắt tiền do đó nó có hiệu quả kinh tế và hoàn vốn đầu tư ban đầu nhanh chỉ khi nào sản xuất sản lượng sản phẩm lớn, hàng loạt, hàng khối. Chuyên môn hóa và hợp tác hóa sản xuất tạo điều kiện tăng sản lượng sản phẩm, từ đó mới có thể quyết định nên hay không nên thiết kế chế tạo ĐDTĐ. Phải tìm cách nâng cao sản lượng sản phẩm để gia công trên đường dây.

2) *Sản phẩm phải ổn định*

Để chế tạo ĐDTĐ, ngoài sản lượng hàng năm, cần biết sản phẩm có ổn định hay không, thời gian bao lâu. Vì khi sản phẩm thay đổi, thì việc điều chỉnh ĐDTĐ không phải lúc nào cũng đạt yêu cầu.

3) *Sản phẩm phải có hình dáng, kích thước và nguyên liệu hợp lý*

Đặc điểm lớn của ĐDTĐ là trong quá trình gia công sản phẩm đổi từ vị trí này đến vị trí khác. Nếu hình dạng và kích thước sản phẩm không hợp lý thì các cơ cấu vận chuyển sẽ phải rất phức tạp không cần thiết, và nhiều khi không thể gia công được trên ĐDTĐ.

Cho nên trước khi thiết kế ĐDTĐ phải nghiên cứu kỹ xem hình dạng và kích thước sản phẩm đã hợp lý chưa.

Nguyên liệu sản phẩm có ảnh hưởng lớn đến hiệu quả làm việc của ĐDTD. Phải xét tính chất cơ lý của vật liệu theo 2 quan điểm sau:

- * Tuổi thọ của dụng cụ cắt.
- * Phương pháp thu dọn phoi.

Đường dây sản phẩm không có phoi dễ chế tạo hơn, ví dụ, các quá trình dập, cắt, đúc áp lực, hàn, lắp ráp, bao gói, chia theo suất (khâu giấy, v.v. ...), còn đường dây gia công cắt gọt thì chế tạo phức tạp hơn nhiều. Đầu tiên là vật liệu gia công phải có tính năng cắt gọt tốt, ví dụ, gang, nhôm, hợp kim nhôm. Thứ hai là vật gia công cho ra phoi dễ hay khó dọn. Trong các loại phoi thì phoi gang và nhôm, đồng dễ dọn, còn phoi thép là khó dọn nhất. Vì thế không phải ngẫu nhiên mà cho đến ngày nay các ĐDTD gia công thép chỉ chiếm trên dưới 20% tổng số ĐDTD gia công cắt gọt. Còn gần 80% ĐDTD là gia công gang, nhôm, đồng và hợp kim nhôm.

4) Sản phẩm phải có tính công nghệ cao

Kết cấu sản phẩm, vị trí, kích thước và mặt chuẩn để gia công phải hợp lý thì việc thiết kế chế tạo ĐDTD mới rẻ, gia công sản phẩm mới bảo đảm chất lượng và việc sử dụng đường dây mới thuận tiện. Chọn mặt chuẩn của sản phẩm để gia công có ý nghĩa rất lớn về kỹ thuật và kinh tế. Sản phẩm có mặt chuẩn tốt thì kết cấu của ĐDTD đơn giản, rẻ tiền, vì mặt chuẩn ấy được sử dụng lúc vận chuyển, định vị, kẹp chặt và gia công. Nếu sản phẩm không có mặt chuẩn tốt thì tạo mặt chuẩn tạm thời (nếu được), gọi là mặt chuẩn công nghệ (do kết cấu sản phẩm quá phức tạp) thì phải sử dụng đồ gá vệ tinh (đồ gá mang một hay vài sản phẩm, di chuyển từ đầu đến cuối ĐDTD trong quá trình gia công). Phải chọn thế nào để cùng một mặt chuẩn có thể thực hiện tất cả các nguyên công trên ĐDTD. Các vị trí và kích thước gia công phải thế nào để gia công dễ và hầu hết dụng cụ sử dụng trên ĐDTD thuộc loại đã tiêu chuẩn hóa.

5) Quy trình công nghệ phải tiên tiến

Quy trình công nghệ có tiên tiến thì năng suất mới cao. Ở đây vấn đề tiên tiến còn có ý nghĩa là có khả năng chia các nguyên công thành những bước rất đơn giản và ở mỗi vị trí có thể thực hiện nguyên tắc trùng nguyên công, tập trung nguyên công sao cho năng suất của ĐDTD là cao nhất. Khi chia nhỏ các nguyên công cần chia sao cho ĐDTD ít bị ngừng việc, do đó cần chú ý những điểm sau:

- * Tránh dùng những dụng cụ tổ hợp phức tạp vì tuổi thọ của các dụng cụ này không đều nhau. Nếu cần lại chia nhỏ nguyên công hơn nữa để dùng dụng cụ với tuổi thọ gần bằng nhau.

- * Giảm chế độ cắt ở những nguyên công có thời gian ngắn hơn nhịp sản xuất để tăng tuổi thọ của dụng cụ. Nếu cần thì có thể bố trí qui trình công nghệ gia công sản phẩm từ nhiều phía cùng một lúc (dùng máy tổ hợp) để giảm chiều dài và diện tích

đường dây chiếm mặt bằng trong phân xưởng, song không vì thế mà làm máy trở nên quá phức tạp.

10.3.2. Các nhiệm vụ kinh tế kỹ thuật cần thiết để thiết kế chế tạo ĐDTĐ

Sản phẩm cơ khí rất nhiều loại, đa dạng mà lại ít ổn định. Việc chế tạo các phương tiện tự động để sản xuất ra chúng, nhất là ĐDTĐ, thường rất tốn kém, đặc biệt đối với những sản phẩm mới. Để tạo điều kiện sử dụng rộng rãi ĐDTĐ trong ngành chế tạo máy cần chú ý giải quyết hai nhiệm vụ kinh tế kỹ thuật cơ bản sau đây:

1) Giảm hẳn giá thành thiết kế, chế tạo và sử dụng ĐDTĐ.

2) Nâng cao tính vận năng của ĐDTĐ.

Để giải quyết nhiệm vụ thứ nhất cần tiến hành tốt công tác tiêu chuẩn hóa và thống nhất hóa không những các chi tiết mà cả các cụm máy. Chế tạo những cụm máy này cần tiến hành trong điều kiện sản xuất hàng loạt, để giá thành là tương đối rẻ. Khi chế tạo ĐDTĐ thì phần lớn công việc còn lại là lắp ghép, tổ hợp các cụm máy đã có sẵn; khi sửa chữa thì sửa chữa thay thế từng cụm, rất nhanh. Có thể tiêu chuẩn hóa hay thống nhất hóa các cụm cho các máy tự động hay ĐDTĐ như các đầu động lực, các đầu tổ hợp, hệ thống thiết bị đầu ép, hệ thống thiết bị điện, các bộ phận của hệ thống bôi trơn, làm nguội, các thân máy, bàn máy quay, các cơ cấu truyền động, điều khiển, v.v...

Để giải quyết nhiệm vụ thứ hai cần cải tiến các máy công cụ hiện có và chế tạo các máy mới, sao cho chúng làm việc thật bảo đảm theo chu kỳ tự động và dễ ghép chúng thành ĐDTĐ với cùng một loạt cơ cấu vận chuyển phối liệu.

Yêu cầu đối với những máy công cụ này là:

- * Năng suất cao.
- * Độ chính xác gia công cao.
- * Độ tin cậy cao, bảo đảm nhịp gia công.
- * Cấp phối, tháo phối thuận tiện bằng nhiều cách khác nhau, cho phép ghép với những loại thiết bị vận chuyển thường gặp.
- * Hệ thống điều khiển từng máy có thể ghép thuận tiện thành hệ thống điều khiển chung toàn đường dây.
- * Điều chỉnh và gia công được những sản phẩm có kiểu cỡ trong phạm vi đã quy định theo chức năng của từng loại máy.

Khi các điều kiện và nhiệm vụ được giải quyết tốt thì việc thiết kế chế tạo các

ĐDTĐ sẽ rất thuận lợi, cho phép mở rộng phạm vi gia công và ĐDTĐ càng ngày càng dài. Lúc đầu đường dây chỉ là một số nguyên công cùng loại, ví dụ, chỉ gia công cơ khí, sau có nhiều nguyên công khác loại, ví dụ, đúc, gia công cắt gọt, nhiệt luyện, xử lý bề mặt, lắp ráp bao gói, v.v... và tiến tới là phân xưởng, xí nghiệp tự động.

Nhưng các điểm trình bày ở trên mới là điều kiện cần, chưa phải là điều kiện đủ để quyết định thiết kế chế tạo ĐDTĐ nhằm gia công sản phẩm cụ thể nào đó.

Khoa học và kỹ thuật hiện đại cho phép thiết kế chế tạo các loại ĐDTĐ để thỏa mãn nhiệm vụ công nghệ bất kỳ. Khả năng làm được và nên làm hay không là hai vấn đề khác nhau chỉ trên cơ sở tổng hợp các vấn đề hiệu quả kinh tế, điều kiện kỹ thuật và hậu quả xã hội, mà trong đó hiệu quả kinh tế là quan trọng hơn cả, mới có thể quyết định việc thiết kế chế tạo ĐDTĐ dự kiến.

Cho nên trước khi thiết kế cụ thể phải tính toán tỉ mỉ hiệu quả kinh tế của ĐDTĐ.

Ngoài ra, trong điều kiện kinh tế mới phát triển, nên bắt đầu thiết kế chế tạo ĐDTĐ khi mà đã sử dụng rộng rãi trong sản xuất các thiết bị tự động năng suất cao, có nhiều cơ sở nghiên cứu và thiết kế mạnh, có cơ sở chế tạo tốt, đảm bảo các yêu cầu về kỹ thuật. Điều quan trọng là phải có đội ngũ cán bộ và công nhân kỹ thuật lành nghề, bao gồm cán bộ nghiên cứu, nhà thiết kế, công nhân điều chỉnh, sử dụng, chế tạo và sửa chữa ĐDTĐ. Trong khi chưa đủ sức tự thiết kế chế tạo thì việc nhập ĐDTĐ bước đầu để sản xuất những sản phẩm quan trọng, ổn định, vẫn có ý nghĩa lớn.

10.4. MỘT SỐ VẤN ĐỀ KỸ THUẬT CẦN LƯU Ý KHI THIẾT KẾ ĐDTĐ

1) Sản phẩm.

Cán bộ thiết kế ĐDTĐ phải tham gia một cách tích cực trong quá trình thiết kế sản phẩm về kết cấu kích thước và điều kiện kỹ thuật chế tạo. Phải chú ý vấn đề tiêu chuẩn hóa, và thống nhất hóa sản phẩm, nhờ đó trên một ĐDTĐ có thể chế tạo một số sản phẩm với kiểu cỡ gần như nhau để nâng cao hiệu quả kinh tế. Ví dụ, để nâng cao trục động cơ điện trên ĐDTĐ sắp thiết kế thì việc đầu tiên phải làm là thống nhất hóa dây trục động cơ.

2) Quy trình công nghệ

Lập quy trình công nghệ cho chế độ cắt gọt là cơ sở để thiết kế ĐDTĐ. Chỉ tiêu để đánh giá công việc này là giá thành sản phẩm. Nếu chọn tốt thì giá thành sẽ thấp.

Thiết kế quy trình công nghệ, chọn phôi, xác định nguyên công, chọn mặt chuẩn lượng dư cắt gọt, điều kiện kỹ thuật chế tạo giữa các nguyên công dụng cụ, phương pháp kẹp chúng, kết cấu đồ gá, v.v... là vấn đề tổng hợp rất phức tạp, không

thể có một lời giải duy nhất đúng như thông thường chúng ta đã biết. Ở đây cần chú ý đến đặc điểm gia công trên ĐDTĐ để lập quy trình công nghệ. Những đặc điểm quan trọng là các nguyên công tiến hành theo nhịp sản xuất, thực hiện các nguyên công dễ dàng theo thứ tự đã chọn, việc thay đổi mặt định vị và kẹp chặt là ít nhất, chuyển động tải phôi là đơn giản nhất, v.v...

3) Mức độ tập trung nguyên công

Ở mỗi vị trí, cần tập trung nguyên công đến mức độ hợp lý để thuận tiện trong việc sử dụng ĐDTĐ (điều chỉnh máy, thay đổi dụng cụ) bảo đảm nhịp sản xuất đồng đều ở các vị trí, thải phôi dễ dàng, đảm bảo độ cứng vững và độ ổn định công tác của các cơ cấu trong máy; nhiệt độ vùng gia công không quá cao để giảm mức độ biến dạng nhiệt. Tập trung nguyên công quá nhiều hay quá ít đều không tốt, không kinh tế.

4) Nhịp sản xuất

Nhịp sản xuất ở các vị trí có thể làm đồng đều gần như nhau bằng cách:

* Phân phối hợp lý các nguyên công ở mỗi vị trí.

Chia khối lượng gia công thành nhiều phần cho nhiều dụng cụ khác nhau, dùng dụng cụ tổ hợp ở một chừng mực nhất định nào đó (mũi khoan và khoét có bậc không chênh lệch lắm...).

Điều chỉnh chế độ cắt gọt, gia công song song hay nối tiếp những nguyên công dài, v.v... Thông thường có những nguyên công quá ngắn, nếu đã giảm chế độ cắt gọt rồi mà thời gian vẫn còn ngắn so với nhịp sản xuất, thì sau khi gia công xong, dụng cụ đó được nghỉ để chờ nhịp khác. Cố gắng chọn nhịp sản xuất gần với thời gian ngắn nhất trong các vị trí và điều chỉnh các nguyên công ở vị trí có thời gian dài, sao cho hiện tượng dụng cụ “chờ việc” là ít nhất.

5) Mặt chuẩn

Chọn mặt chuẩn để gia công trên ĐDTĐ cũng giống như trong trường hợp gia công thông thường. Song ở đây phải chú ý thêm là chọn mặt chuẩn sao cho phôi có khả năng tự động định vị theo yêu cầu sau: thuận tiện trong vận chuyển, tháo và lắp phôi; phôi kim loại không chui vào các mặt chuẩn và định vị, v.v...

Bởi thế để gia công trên ĐDTĐ thường phải thêm các mặt chuẩn bổ sung, đó là các mặt chuẩn công nghệ hoặc mặt chuẩn của đồ gá vệ tinh.

6) Tuổi thọ và tháo lắp dụng cụ

Chọn chế độ cắt gọt trên ĐDTĐ cũng theo những quy tắc thông thường. Với mục đích giảm thời gian, thường dùng máy để thay đổi dụng cụ, phải hạ thấp chế độ cắt gọt trên ĐDTĐ, sao cho tuổi thọ của đại đa số dụng cụ đều bằng nhau và mỗi ca làm việc chỉ thay dụng cụ một lần, hoặc nhiều lắm là hai lần. Khi thay dụng cụ có

găng không thay từng chiếc mà thay từng bộ đã được điều chỉnh sẵn.

7) Phân đoạn đường dây tự động

Phải suy tính một cách toàn diện để cho đường dây ít ngừng việc. Trong quá trình gia công cũng có máy này hay máy khác hỏng, ngừng việc. Muốn hạn chế ảnh hưởng của một máy hỏng đến cả ĐDTĐ phải phân đoạn đường dây và đặt ổ trữ phôi giữa những đoạn ấy. Máy trong đoạn nào hỏng, đoạn ấy ngừng làm việc, các đoạn khác vẫn tiếp tục gia công được vì chúng có thể tiếp tục nhận phôi từ ổ trữ phôi ở đầu đoạn và chuyển bán thành phẩm cho ổ ở cuối đoạn. Tốc độ nhận và cấp bán thành phẩm của các ổ này cũng theo nhịp sản xuất trên đường dây.

8) Bố trí đường dây

Sau khi giải quyết các vấn đề trên có thể tiến tới xác định kết cấu đường dây (số vị trí, số nhánh phân phối nguyên công); số đường dây để đảm bảo sản lượng đã cho với giá thành thấp nhất, từ đó, sắp xếp bố trí đường dây sao cho thuận lợi nhất về phương diện thiết kế, chế tạo và sử dụng.

9) Giảm thời gian không trùng nguyên công

Giá trị giờ máy của ĐDTĐ rất cao, cho nên phải tìm hết cách giảm thời gian không trùng nguyên công. Thời gian này liên quan đến việc vận chuyển, kẹp và tháo phôi, dụng cụ tiến và lùi nhanh, v.v... Từng vấn đề này phải nghiên cứu kỹ lưỡng để đạt phương án tối ưu.

10) Hệ thống điều khiển

Hệ thống điều khiển ĐDTĐ khá phức tạp, nó bao gồm hệ điều khiển các pha hoạt động, hệ bảo hiểm, hệ điều chỉnh, hệ kiểm tra, v.v...

Hệ thống điều khiển có các mạch:

- + Điều khiển ngoài (bảo đảm sự phối hợp gia công giữa các đoạn đường dây);
- + Điều khiển trong (đảm bảo chu kỳ gia công của mỗi máy).
- + Điều khiển phụ (báo hiệu, phát hiện hư hỏng, đếm số lượng, v.v...).

Ở đây phải xét đến các nguyên tắc điều khiển hợp lý trong từng điều kiện cụ thể, ví dụ, điều khiển theo hành trình, tốc độ, áp suất; điều khiển tập trung, phân tán, song song, hỗn hợp; phương tiện điều khiển (cơ khí, dầu ép, khí nén, điện, điện tử, quang học, v.v...).

10) Kiểm tra chất lượng sản phẩm

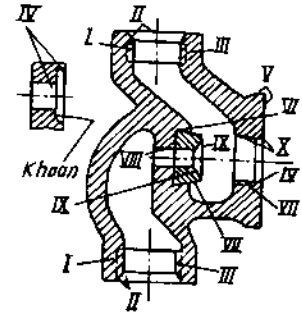
Đây là vấn đề quan trọng, cần chú ý giải quyết tự động kiểm tra chất lượng sản phẩm, bao gồm các vấn đề như: các thông số cần kiểm tra, số lượng và tần số kiểm tra, những vị trí trên ĐDTĐ cần đặt hệ thống kiểm tra, phương tiện kiểm tra thích ứng với quy trình công nghệ, kiểm tra theo phương pháp chủ động hay bị động, v.v...

10.5. BỐ TRÍ ĐƯỜNG DÂY TỰ ĐỘNG (ĐDTĐ)

10.5.1. Bố trí ĐDTĐ đưa vào yếu tố công nghệ

a) Yêu cầu quan trọng về mặt công nghệ

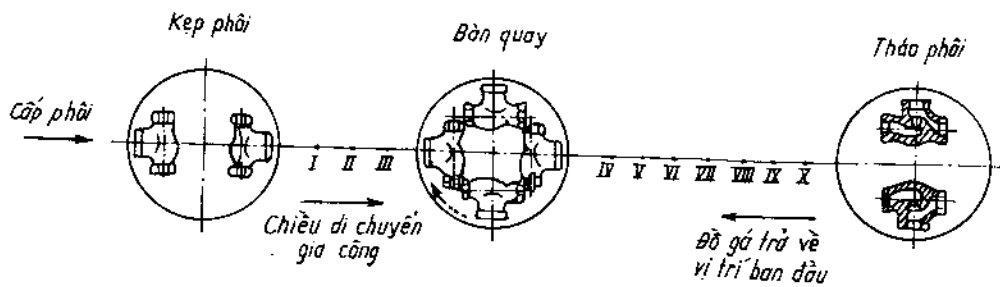
Hình dạng và vật liệu của chi tiết, điều kiện kỹ thuật chế tạo cùng với dạng sản xuất (loạt vừa, loạt lớn, hàng khối...) quyết định phần lớn quy trình công nghệ gia công trên ĐDTĐ. Quy trình này chỉ được chấp nhận sau khi đã thiết kế sơ bộ đường dây và giải quyết xong các vấn đề kỹ thuật lớn nêu ở trước (định vị, kẹp chặt, vận chuyển v.v...). Đó là điểm khác nhau quan trọng trong quá trình lập quy trình công nghệ gia công trên ĐDTĐ và gia công không phải trên ĐDTĐ.



Hình 10.1. Vỏ van nước.

Để làm sáng tỏ điều ấy, chúng ta xét quy trình công nghệ gia công vỏ một van nước, hình 10.1. Ở đây hình dáng chi tiết không cho phép vận chuyển phôi trực tiếp trên đường dây, do đó phải vận chuyển nó bằng đồ gá, hình 9.2.

b) ĐDTĐ vận chuyển phôi bằng đồ gá (không cho phép vận chuyển phôi trực tiếp)



Hình 10.2. ĐDTĐ vận chuyển phôi bằng đồ gá.

Ở ĐDTĐ này phải kẹp phôi trên đồ gá vệ tinh. Đồ gá cùng với phôi di chuyển từ vị trí này đến vị trí khác, ở mỗi vị trí nó được định vị, kẹp chặt để gia công, nếu cần thiết thì đồ gá cùng với phôi có thể quay đổi vị trí để gia công. Trong sản xuất không tự động, vỏ van quay trong quy trình gia công. Nếu cũng làm như vậy trong sản xuất tự động thì quy trình công nghệ, thiết bị và ĐDTĐ sẽ phải rất phức tạp, độ tin cậy kém. Cho nên với ĐDTĐ vỏ van phải đứng yên trong quy trình gia công. Còn các loại dụng cụ phải quay. Nhờ đó ĐDTĐ với quy trình công nghệ riêng, máy tự động, cơ cấu vận chuyển, đồ gá, phương pháp định vị,... sẽ rất đơn giản. Có thể dùng được nhiều cơ cấu máy đã tạo được tiêu chuẩn hóa, thống nhất hóa. Các số La Mã: I,

II... X ở hình 10.2 chỉ thứ tự gia công ở các vị trí.

Trên cơ sở phân tích quy trình công nghệ ở các ĐDTĐ đã sử dụng, có thể kết luận rằng, yêu cầu quan trọng về mặt công nghệ cần được thỏa mãn với mức độ tối đa là: *chọn quy trình công nghệ trên ĐDTĐ thế nào để số lần chuẩn bị và kẹp chặt là ít nhất*. Đạt yêu cầu ấy mới có năng suất cao, chất lượng gia công tốt và giá thành sản phẩm hạ, vì chu kỳ sẽ ngắn nhất. ĐDTĐ đơn giản thì ít dùng thiết bị phụ, nhất là các loại tay máy, các loại cơ cấu thao tác tự động, lật và chuyển vị phôi, v.v...

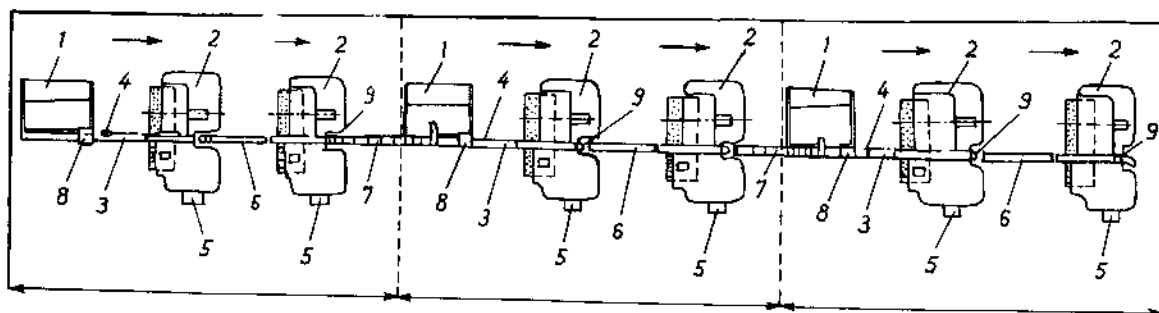
Tốt nhất là làm cho chuyển động vận chuyển phôi trùng với chuyển động gia công, ví dụ, ĐDTĐ mài vô tâm các chốt của pittông (hình 10.3).

10.5.2. ĐDTĐ có chuyển động vận chuyển phôi trùng với chuyển động gia công

Ở đây có một số ĐDTĐ như sau:

- * ĐDTĐ mài vô tâm các chốt của pitton.
- * ĐDTĐ mài thanh thép dẹt.
- * ĐDTĐ rôto rót bia vào chai và đóng nút chai.
- * ĐDTĐ thổi bóng đèn điện.
- * Đoạn ĐDTĐ chuốt ngoài.
- * Đoạn ĐDTĐ phay 2 mặt đầu của sản phẩm.
- * Đoạn ĐDTĐ đánh bóng mặt ngoài, v.v...

Trên hình 10.3 là ĐDTĐ mài vô tâm các chốt pitton.



Hình 10.3. Đường dây tự động mài vô tâm các chốt pitton:

1- ổ trữ phôi; 2- máy mài vô tâm; 3- máng trượt; 4- đĩa hướng phôi; 5- cơ cấu tự động điều chỉnh kích thước mài; 6- cơ cấu vận chuyển phôi; 7- cơ cấu nâng phôi lên ổ chứa; 8- cơ cấu phân phối phôi; 9- máy tự động kiểm tra sản phẩm.

10.5.3. Kết cấu hình dạng của sản phẩm có ảnh hưởng đến việc bố trí ĐDTĐ

Cần xét hình dáng sản phẩm về hai phương diện: sản phẩm có bề mặt định vị thuận lợi cho lúc kẹp chặt khi gia công hay không? Sản phẩm có thuận lợi cho việc

vận chuyển từ máy này đến máy khác hay không?

Có thể nói sản phẩm cơ khí trên ĐDTĐ, nếu xét về định vị có thể chia làm hai nhóm:

- * Nhóm có 3 điểm định vị đối với mặt chuẩn như: vỏ hộp tốc độ, vỏ động cơ đốt trong, pitton, tay biên, v.v...

- * Nhóm có 2 điểm định vị, chủ yếu là các chi tiết tròn xoay như: trục, đĩa, v.v...

Chọn điểm định vị hợp lý thì việc định hướng của phôi sẽ tốt trong quá trình vận chuyển. Những sản phẩm không có mặt để định vị và giữ hướng thì chúng được kẹp chặt vào đồ gá vệ tinh trong suốt quá trình gia công và vận chuyển. Ở đường dây này phải có bộ phận tự động vận chuyển ngược đồ gá vệ tinh rỗng (không có phôi) về lại vị trí xuất phát ở đầu đường dây.

Những sản phẩm bé tròn xoay, chỉ cần 2 điểm định vị thì có thể vận chuyển tự do không cần định hướng, nhưng trước khi vào vị trí gia công, phôi phải đi qua cơ cấu định hướng tự động. Với cách làm như vậy nhiều khi đường dây sẽ đơn giản hơn.

10.5.4. Vật liệu chi tiết được gia công ảnh hưởng đến bộ trí đường dây

Vật liệu sản phẩm ảnh hưởng vừa trực tiếp, vừa gián tiếp đến đường dây.

- + Ảnh hưởng trực tiếp: thể hiện qua quy trình công nghệ, vì căn cứ vào độ cứng, độ dẻo, tính chịu gia công của vật liệu mà xác định quy trình công nghệ. Cụ thể là chọn tính chất các nguyên công, số nguyên công, thứ tự của chúng, mức độ gia công tập trung, v.v...

- + Ảnh hưởng gián tiếp: thể hiện ở tính chất phoi gia công. Tùy theo tính chất này mà quyết định cách dọn phoi, mức độ tập trung nguyên công, cách bố trí các nguyên công và dụng cụ cắt, v.v...

10.5.5. Bố trí ĐDTĐ dựa vào các yếu tố thiết bị

a) Tính chất thiết bị gia công ảnh hưởng đến việc bố trí đường dây

Thiết bị gia công của ĐDTĐ có 2 loại:

- * Loại cũ có cải tiến.

- * Loại mới thiết kế.

Sử dụng các loại thiết bị tự động có sẵn vào ĐDTĐ thường có nhiều trở ngại cho việc bố trí đường dây. Việc sắp xếp các hệ thống vận chuyển và cấp phôi cho những máy này trong ĐDTĐ không phải là đơn giản. Đa số trường hợp phải thay đổi kết cấu của máy cũ rồi đưa vào ĐDTĐ. Sau khi đã cải tiến, bổ sung các cơ cấu tự động lắp và tháo phôi, ghép hệ thống vận chuyển phôi và nhiều máy tiện tự động vận năng có thể làm việc tốt ở các ĐDTĐ gia công nhiều loại sản phẩm khác nhau.

Có những máy công cụ khi đưa vào ĐDTĐ không cần thay đổi kết cấu máy như máy mài vô tâm. Ở đây chỉ cần thêm bộ phận tự động sửa đá mài và điều chỉnh lượng di động khi đá mòn; máy tự động gia công các chi tiết bé (ốc, bạc, xupap, v.v...).

Nói chung, để đưa các máy tiện tự động có sẵn vào ĐDTĐ cần phải cải tiến và bổ sung các cơ cấu tự động cần thiết; chế độ, tính chất gia công của máy vẫn như cũ, còn cơ cấu vận chuyển phôi của ĐDTĐ thường thường không thể bố trí xuyên vùng gia công, mà bố trí lệch sang một bên.

Đường dây lắp toàn máy mới thiết kế thì việc bố trí dễ hợp lý, vì có thể chủ động chọn phương án công nghệ tốt nhất trong những điều kiện đã cho. Ví dụ, chọn tính chất gia công, phân bố nguyên công, chế độ cắt, tháo lắp sản phẩm, thay đổi dụng cụ phục vụ đường dây là thuận tiện; tuy thiết kế chế tạo mới có chậm hơn, song hợp lý hơn và kinh tế hơn; nhưng đầu tư ban đầu phải rất lớn.

b) Đồng bộ hóa nhịp gia công có ảnh hưởng đến bố trí ĐDTĐ

Việc bố trí cho nhịp gia công ở tất cả các thiết bị trong ĐDTĐ bằng nhau là vấn đề quan trọng, nó đảm bảo năng suất đường dây cao, giá thành sản phẩm hạ.

Phương pháp đồng bộ hóa nhịp gia công có khác nhau tùy theo kết cấu của ĐDTĐ.

Đối với ĐDTĐ có cơ cấu vận chuyển xuyên vùng gia công thì việc đồng bộ nhịp gia công vẫn làm theo phương pháp thông thường. chẳng hạn như phối hợp nhiều nguyên công ở một vị trí, chia nguyên công dài thành nhiều nguyên công ngắn, rồi gia công ở những vị trí nối tiếp (nếu có thể), sử dụng các loại dao cắt tổ hợp, v.v...

Đối với ĐDTĐ có cơ cấu vận chuyển không xuyên vùng, hình 10.4, muốn thời gian gia công ở tất cả các vị trí bằng nhau, đôi khi phải tính toán thay đổi số máy cho mỗi nguyên công, nếu cần thì bố trí ĐDTĐ với nhiều nhánh, ở chỗ phân nhánh hay hợp thành phải có thiết bị đặc biệt để đảm nhiệm việc phân hay hợp sản phẩm. Trên hình 10.4, ở các nguyên công a, c, d, i chỉ có một máy; ở nguyên công b cần hai máy; nguyên công e cần 3 máy.

c) Các thiết bị phụ ảnh hưởng đến việc bố trí đường dây

Tùy theo loại sản phẩm và tính chất gia công mà sử dụng các loại thiết bị gia công khác nhau. Các thiết bị phụ như: thiết bị vận chuyển, thiết bị phân nhánh và hợp nhánh, thiết bị trữ phôi, các loại tay máy, các cơ cấu tự động khác, v.v... Thiết bị vận chuyển có thể bố trí theo đường dây thẳng, đường gẫy, một nhánh, nhiều nhánh, một tầng, nhiều tầng, giá trượt, giá treo, v.v...

Thiết bị phân nhánh và hợp thành nhánh có độ phức tạp tùy theo hình dạng

của sản phẩm. Đối với những chi tiết lắp được thì chỉ cần máng lăn, máng trượt và cơ cấu phân chia hay hợp thành đơn giản. Đối với những chi tiết phức tạp, đòi hỏi phải có cơ cấu đặc biệt, đôi khi phải có các tay máy hoạt động theo chương trình, đường dây phải đổi hướng, v.v...

Tùy theo sản lượng, tính chất và thời gian gia công sản phẩm, có thể có 1 hay nhiều thiết bị trữ phôi trung gian (giữa đường dây) với mục đích giảm đến mức tối đa thời gian đường dây ngừng hoạt động vì một máy nào đó hỏng.

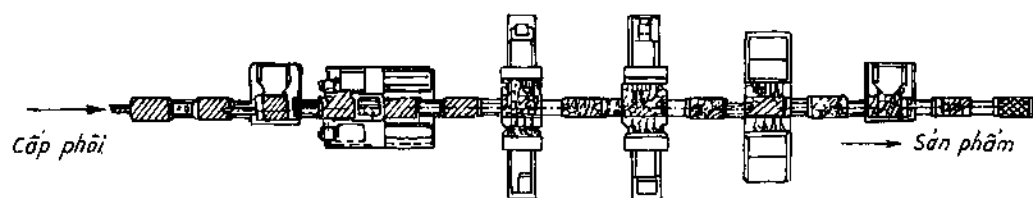
Như vậy, các thiết bị phụ này đều có ảnh hưởng đến việc bố trí ĐDTD.

10.5.6. Bố trí đường dây để sản xuất chi tiết đứng yên lúc gia công

Hiện nay, ĐDTD để chế tạo các sản phẩm đứng yên khi gia công có cách bố trí tương đối ổn định.

Trên những đường dây này thực hiện các nguyên công như: khoan, khoét, doa, cắt ren, phay, lắp ráp, v.v... Thiết bị của ĐDTD thường là tổ hợp những bộ phận đã được tiêu chuẩn hóa, cho nên chế tạo nó nhanh và rẻ hơn các đường dây khác.

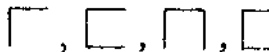
a/ Đường dây với cơ cấu vận chuyển xuyên vùng



Hình 10.4. ĐDTD có cơ cấu vận chuyển xuyên vùng.

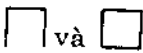

Ở các đường dây này cơ cấu vận chuyển đi ngang qua vùng gia công, song song với mặt chuẩn của phôi và có độ cao vừa để gia công. Sau khi phôi được chuyển đến vị trí gia công, các cơ cấu định vị và kẹp chặt bắt đầu hoạt động. Gia công xong, cơ cấu kẹp và các cơ cấu định vị đều tự động lùi, phôi được chuyển đến vị trí khác.

Trên hình 10.4 là ví dụ ĐDTD với cơ cấu vận chuyển xuyên vùng.

Loại ĐDTD này có thể bố trí khác nhau trên mặt bằng đường thẳng, đường gãy theo các hình sau:  v.v...

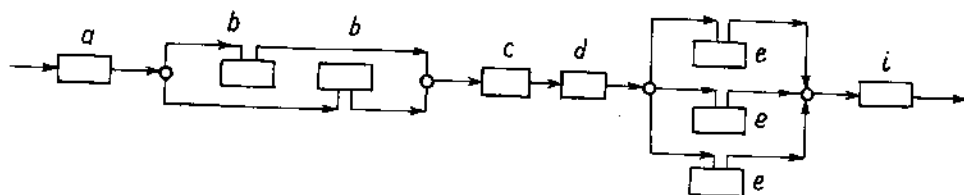
Bố trí thành đường gãy là do nhu cầu gia công. Ví dụ, cần phay 4 mặt của một vỏ hộp (mỗi lần phay hai mặt) mà không muốn có cơ cấu tự động phức tạp để xoay vỏ hộp một góc 90°. Nhưng ở đây cơ cấu phức tạp hơn vì phải đổi chiều chuyển động, tức là có cơ cấu vận chuyển thứ 2. Loại đường dây thẳng đơn giản hơn, nhưng không thuận lợi cho công nhân khi phục vụ và điều chỉnh vì phải đi lại nhiều, các cơ cấu

điều khiển chung ở xa chỗ cần kiểm tra, cần điều chỉnh.

Bố trí đường dây theo hình:  và  có phức tạp hơn về mặt kết cấu, nhưng việc điều chỉnh thuận lợi hơn, công nhân cứ thế mà vừa tháo sản phẩm, vừa lắp phôi mới tại một chỗ.

b/ Đường dây với cơ cấu vận chuyển không xuyên vùng

Ở loại này cơ cấu vận chuyển không xuyên vùng gia công mà nằm một bên đối với thiết bị gia công; cho nên ngoài chuyển động dọc, phôi còn chuyển động ngang nữa để vào và ra khỏi vùng gia công.



Hình 10.5. ĐDTD có cơ cấu vận chuyển không xuyên vùng.

Đây là đường dây của hãng Senek Fols để gia công trục cam động cơ ôtô trong. Đường dây này được cải tiến từ những máy tự động cũ, việc cấp phôi và tiến hành gia công chỉ ở mặt trước của máy mà thôi. Do đó chiếm nhiều diện tích, chu kỳ gia công dài vì ngoài chuyển động dọc thì chuyển động ngang không trùng với thời gian cắt gọt.

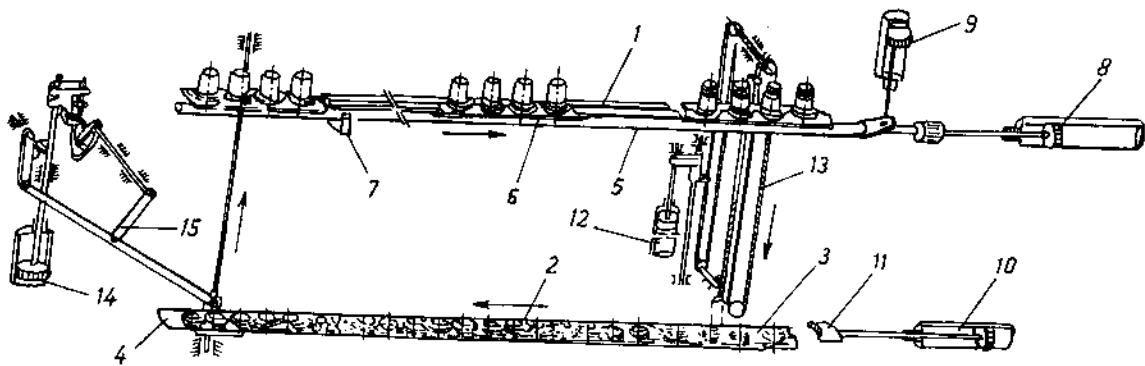
c/ Đường dây có cơ cấu vận chuyển với đồ gá vệ tinh

Những sản phẩm có đồ gá phức tạp, không thể vận chuyển và định vị trực tiếp được trên đường dây, phải đặt chúng vào đồ gá đặc biệt; đồ gá rời chỗ cùng với phôi từ đầu đến cuối đường dây, sau đó trở về vị trí ban đầu.

Trong trường hợp phôi có thể vận chuyển và định vị trực tiếp được trên đường dây đôi khi vẫn dùng đồ gá vệ tinh với mục đích giảm số lượng cơ cấu kẹp ở vị trí gia công, mặc dù cơ cấu khi đó phần nào có phức tạp hơn. Ngoài ra, sử dụng như vậy cũng để tiết kiệm nhân lực vì đồ gá cùng với phôi sau khi gia công chỉ cần hai người ở hai đầu đường dây. Cơ cấu vận chuyển đồ gá vệ tinh thường bố trí xuyên vùng và đặc điểm chủ yếu của đường dây loại này là có nhánh vận chuyển ngược đồ gá về đầu đường dây. Có nhiều cách bố trí nhánh vận chuyển ngược.

Cách thứ nhất:

Nhánh vận chuyển ngược nằm dưới nhánh vận chuyển xuôi xuyên qua thiết bị gia công. Ví dụ trên hình 10.6 là sơ đồ cơ cấu vận chuyển thuận và ngược đồ gá vệ tinh của đường dây gia công pitông:



Hình 10.6. Đường dây có cơ cấu vận chuyển với đồ gá vệ tinh.

- 1- cơ cấu vận chuyển thuận ở trên; 2- cơ cấu vận chuyển ngược ở dưới; 3- bàn hạ đồ gá vệ tinh (pitông được tháo ra khỏi đồ gá trong quá trình bàn hạ); 4- bàn nâng đồ gá (pitông được lắp vào các chốt của đồ gá ở vị trí phía trên); 5- thanh đẩy của cơ cấu vận chuyển; 6- bộ phận dẫn đồ gá của thanh 5; 7- chỗ tựa của thanh đẩy 5; 8- xylanh thủy lực để thanh 5 chuyển động dọc; 9- xylanh thủy lực để thanh 5 quay xung quanh trục của nó; 10- xylanh đẩy đồ gá chuyển động ngược; 11- cần đẩy; 12- xylanh để chuyển bàn 3 theo phương thẳng đứng; 13- xích truyền động; 14- xylanh để chuyển bàn 4 theo hướng thẳng đứng; 15- cơ cấu truyền động.

Đường dây với nhánh vận chuyển ngược nằm dưới nhánh vận chuyển xuôi có ưu điểm là cấu tạo của đường vận chuyển đơn giản, diện tích chiếm chỗ không tăng, cách bố trí gọn ghẽ, nhưng có nhược điểm là nhánh vận chuyển choán chỗ phía dưới của thiết bị nên khó dọn phoi, khó quan sát cơ cấu vận chuyển ngược, phải dành thêm nhiều chỗ để đặt cơ cấu dọn phoi.

Cách thứ hai:

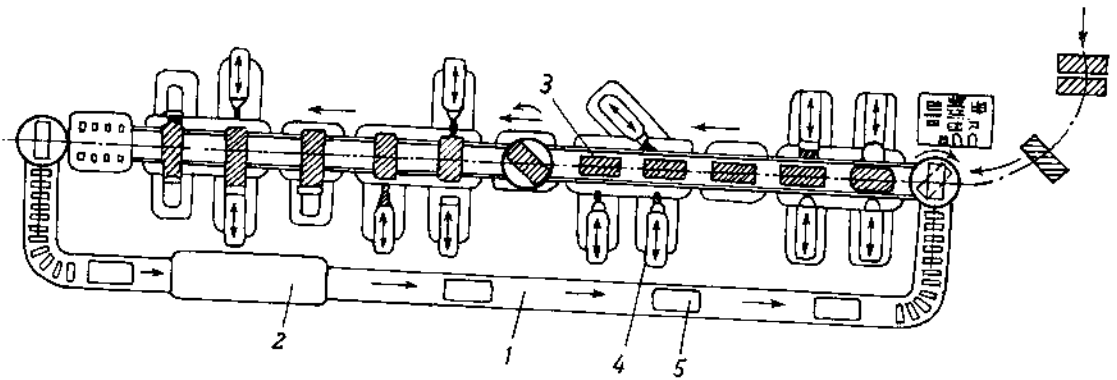
Nhánh vận chuyển ngược nằm trong cùng mặt phẳng ngang với nhánh vận chuyển xuôi. Trong trường hợp này cơ cấu vận chuyển ngược cùng với cơ cấu vận chuyển xuôi làm thành hình chữ nhật kín trên mặt bằng phân xưởng. Ví dụ, đường dây gia công vỏ động cơ đốt trong trên hình 10.7.

Loại đường dây này có ưu điểm là dễ quan sát sự hoạt động của tất cả các thiết bị, cơ cấu vận chuyển ngược có thể làm đơn giản, nhưng nhược điểm là diện tích chiếm chỗ tăng, khó tiến sát đến các cơ cấu máy nằm bên trong vòng kín hình chữ nhật.

Cách thứ ba:

Nhánh vận chuyển ngược nằm bên trên nhánh vận chuyển xuôi. Ở cuối đường dây đồ gá vệ tinh được nâng lên cao, rồi theo cầu treo hoặc theo máng trượt chuyển về đầu đường dây.

Ưu điểm của loại đường dây này là tránh được các nhược điểm của hai loại đường dây ở trên nên nhiều khi có thể xem đây là cách bố trí hợp lý nhất, song cũng có nhược điểm là nhánh ngược chắn bớt một phần ánh sáng và làm bẩn nhánh chính ở dưới nó.

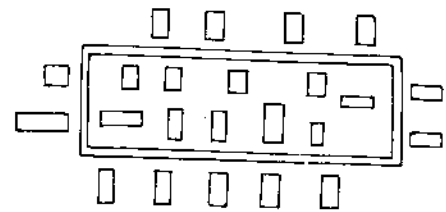


Hình 10.7. Đường dây gia công vỏ động cơ đốt trong.

1- cơ cấu vận chuyển ngược đồ gá vệ tinh; 2- vị trí rửa sạch đồ gá vệ tinh; 3- phôi kẹp chặt trên đồ gá; 4- các thiết bị gia công; 5- đồ gá vệ tinh không có phôi trở lại vị trí ban đầu.

Cách thứ tư:

Đường dây với đồ gá vệ tinh bố trí thành một vòng kín, thường là hình chữ nhật, các thiết bị gia công và các thiết bị đặt dọc theo vòng ấy. Ở đây có nhiều phương pháp bố trí thiết bị: bố trí thiết bị bao phủ lên phía trên cơ cấu vận chuyển; bố trí thiết bị ở bên trong vòng đường dây, hoặc bên ngoài vòng; bố trí thiết bị cả hai bên dọc theo vòng đường dây như hình 10.8.



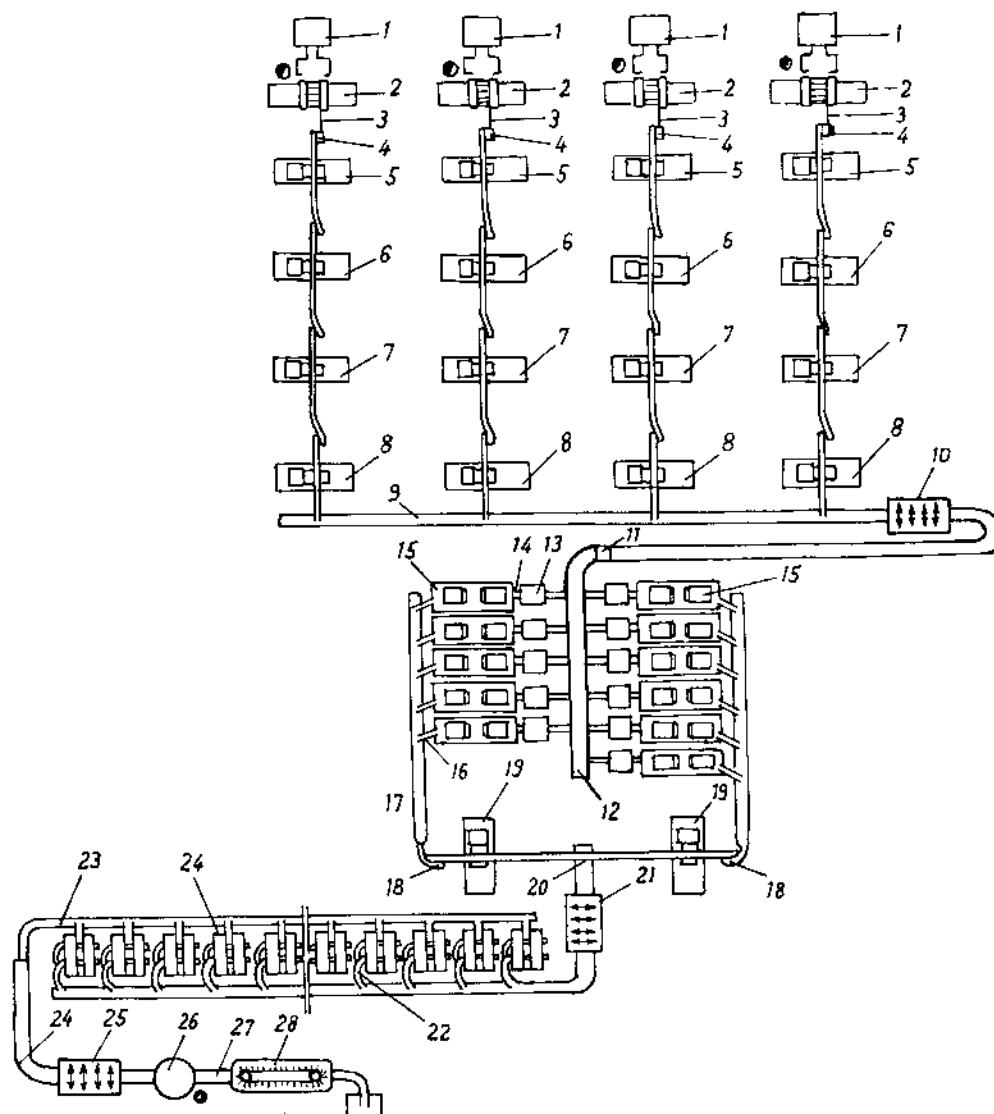
Hình 10.8. Đường dây với đồ gá vệ tinh bố trí thành một vòng kín.

Ưu điểm của loại đường dây này là không có nhánh vận chuyển ngược đồ gá vệ tinh. Nhược điểm là khó tiến sát vào các vùng gia công, nhất là trường hợp thiết bị đặt ở bên trong vòng đường dây, khó phục vụ.

10.5.7. Bố trí đường dây để sản xuất chi tiết quay lúc gia công

Số đường dây để gia công các chi tiết tròn xoay chưa có nhiều, cho nên cách bố trí đường dây này chưa ổn định, nó tùy thuộc quy trình công nghệ. Trong quá trình gia công nói chung chi tiết phải quay, đôi khi cần đứng yên để khoan, khoét, phay rãnh then... Đã có những đường dây để gia công các loại trục, như trục động cơ điện, trục cơ của động cơ đốt trong, trục khuỷu,... gia công các loại kiểu đĩa như bánh răng, nắp hộp... hay các loại chi tiết bé, hình tròn xoay như các bạc, chốt, bulông... Loại đường dây này thường gồm những máy tự động và nửa tự động với năng suất cao. Khi ghép vào đường dây, các máy cần trang bị thêm cơ cấu cấp phôi tự động để

đưa phôi từ cơ cấu vận chuyển dọc vào máy. Cơ cấu này dùng để vận chuyển phôi cho các máy không đặt xuyên vùng được, trừ trường hợp sử dụng được máy mài vô tâm, máy lăn ren... Nếu thời gian thực hiện nguyên công ở tất cả các vị trí gần bằng nhau thì có thể bố trí đường dây gia công theo một đường, không phân nhánh, ví dụ, đường dây gia công trục động cơ điện. Trong trường hợp thời gian thực hiện các

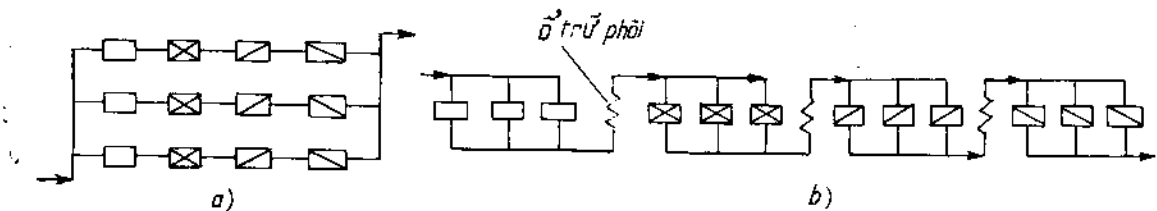


Hình 10.9. Đường dây gia công bạc xupáp.

1,13-ổ trữ phôi; 2- máy mài hai mặt đầu; 3- cơ cấu nâng phôi lên ổ phôi; 4,5,6,7,8- các máy mài vô tâm (mài thô và tinh); 9,17,23- cơ cấu vận chuyển thu phôi; 10,21,25- máy rửa; 11- cơ cấu nâng phôi; 12,22- cơ cấu vận chuyển phân phối; 14,16- máng dẫn phôi; 15- máy tiện 6 trục chính (11 máy); 18- cơ cấu nâng phôi; 19- máy mài vô tâm; 20- cơ cấu vận chuyển; 24- máy tiện khoét trong; 26- vị trí kiểm tra sản phẩm; 28- vị trí thấm bề mặt.

nguyên công rất khác nhau, việc bố trí đường dây trở nên phức tạp. Ở những nguyên công cần thời gian dài hơn so với nhịp sản xuất, phải có nhiều máy giống nhau thực hiện, đường dây chia làm nhiều nhánh. Trên hình 10.9 là ví dụ đường dây gia công bạc xupap. Theo cách bố trí này, sản phẩm của từng nhóm máy sau khi gia công và chuyển lên máy thu sẽ lẫn lộn, có phế phẩm cũng không biết do máy nào gây ra. Muốn biết phải đặt thiết bị đánh dấu sản phẩm ở từng máy.

Trường hợp số máy trong các nguyên công là như nhau, có thể bố trí đường dây theo hai cách: ghép liên tiếp các máy khác nhau trong từng nhánh (hình 10.10a) và ghép các máy như nhau thành từng đoạn (hình 10.10b).



Hình 10.10. Cách bố trí ĐDTĐ

- a) Đường dây ghép liên tiếp các máy như nhau thành từng đoạn;
b) Đường dây ghép liên tiếp các máy khác nhau trong từng nhánh

Cách bố trí thứ nhất gọn ghẽ hơn, dùng khi có thể đặt cơ cấu vận chuyển xuyên vùng. Cách bố trí thứ hai cồng kềnh, sử dụng nhiều đoạn cơ cấu vận chuyển. Nếu những cơ cấu vận chuyển này đơn giản, ít hư hỏng thì cách bố trí sau tốt hơn cách thứ nhất ở chỗ đặt được ổ trữ phối trung gian sau mỗi nhóm, làm cho thời gian điều chỉnh sửa chữa nhóm máy này không ảnh hưởng mấy đến các nhóm khác.

Trong loại đường dây này có hai cách phân phối bán thành phẩm:

+ Phân phối bán thành phẩm không theo địa chỉ: sau nhóm máy đầu, cơ cấu thu thập chuyển ngay bán thành phẩm cho cơ cấu phân phối. Mỗi máy của nhóm sẽ nhận bán thành phẩm nhiều hay ít là tùy theo ổ trữ phối của nó đầy hay vơi. Nếu tất cả ổ trữ phối đầy, phối không được phân phối cho máy nào cả, chúng sẽ theo nhánh vận chuyển ngược trở về đầu đường dây, đôi lúc một phối phải đi lại nhiều lần như thế. Khi sản phẩm có độ chính xác và độ nhão cao, vật liệu mềm thì không sử dụng kiểu phân phối này.

+ Phân phối bán thành phẩm theo địa chỉ: sau nhóm máy đầu, cơ cấu thu thập không chuyển bán thành phẩm cho cơ cấu phân phối, mà cho ổ trữ phối lớp trung gian. Sau đó, ổ trữ phối trung gian sẽ cấp bán thành phẩm cho từng máy của nhóm theo tín hiệu của máy nào yêu cầu. Cách phân phối này tránh được nhược điểm của cách phân phối không theo địa chỉ, mà còn cho phép ở một đường dây, cùng một

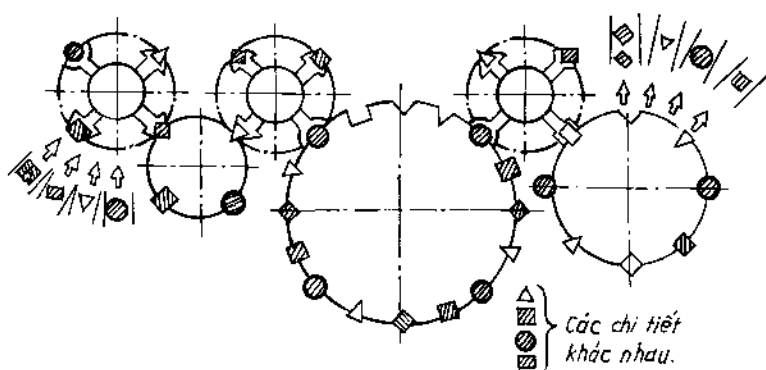
máng vận chuyển, có thể gia công cùng một lúc 1 loại sản phẩm với nhiều cỡ khác nhau. Nếu nhiều máy cùng phát tín hiệu yêu cầu một lúc thì máy nào ở xa được phân phối trước. Các thiết bị điện kết hợp với cơ khí đảm nhiệm việc này dễ dàng theo nguyên lý: máy nào cần, cửa vào máy ấy mở, còn các cửa khác đều đóng kín.

10.5.8. Bố trí đường dây để thời gian gia công và vận chuyển trùng nhau

Trong các loại đường dây trước hầu hết các cơ cấu vận chuyển đều chuyển động tịnh tiến từng bước hoặc theo chu kỳ, thời gian gia công và vận chuyển hoặc không trùng nhau như trong trường hợp cơ cấu vận chuyển xuyên vùng, hoặc trùng nhau một phần như trong trường hợp bố trí cơ cấu vận chuyển không xuyên vùng: thời gian vận chuyển dọc

trùng, thời gian vận chuyển ngang

không trùng. Ở mỗi máy có cơ cấu đưa phôi sát ngay vùng gia công để thay phôi nhanh chóng và giảm được phần lớn thời gian vận chuyển không trùng.



Hình 10.11. Đường dây theo kiểu rôto.

Muốn cho thời gian vận chuyển trùng hoàn toàn với thời gian gia công thì phải bố trí đường dây theo kiểu rôto: phôi và dụng cụ vừa chuyển động dời chỗ theo vòng tròn, vừa được gia công. Trên đường dây rôto hình 10.11 có thể bố trí gia công cùng một lúc nhiều sản phẩm khác nhau.

10.6. CƠ CẤU VẬN CHUYỂN PHÔI TRÊN ĐDTĐ

Nhiệm vụ chủ yếu của cơ cấu vận chuyển là đưa phôi từ vị trí này sang vị trí khác để gia công. Cơ cấu vận chuyển nói chung bao gồm các cơ cấu cấp phôi, tháo phôi, vận chuyển, định hướng. Rất khó phân loại cơ cấu vận chuyển phôi vì chúng quá nhiều và để thực hiện một việc có thể có các loại cơ cấu khác nhau tùy điều kiện cụ thể của đường dây.

Tuy nhiên, tính chất của cơ cấu vận chuyển về cơ bản có liên quan đến tính chất gia công của phôi trên đường dây, cho nên sau đây sẽ giới thiệu các cơ cấu vận

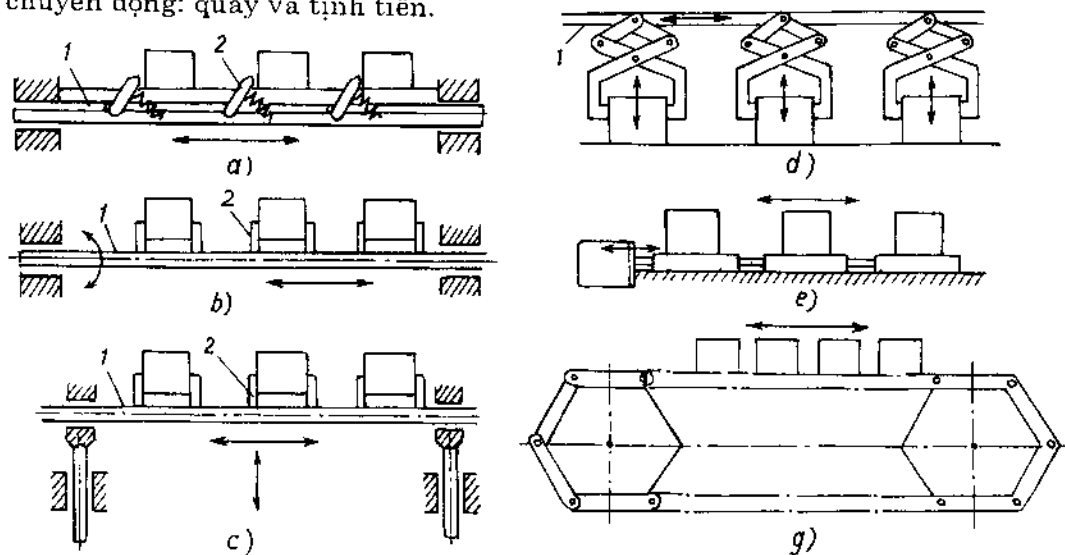
chuyển của đường dây với phôi đứng yên và phôi quay khi gia công, vận chuyển phôi trực tiếp hoặc vận chuyển phôi qua đồ gá vệ tinh.

10.6.1. Cơ cấu vận chuyển loại phôi không chuyển động lúc gia công

Đối với loại phôi không chuyển động khi gia công, thường thường đường dây có cơ cấu vận chuyển phôi trực tiếp và xuyên vùng. Trong trường hợp này phổ biến nhất là loại cơ cấu vận chuyển từng bước, tịnh tiến theo chu kỳ (hình 10.12).

Cơ cấu vận chuyển từng bước với con cóc (hình 10.12a): con cóc 2, dưới tác dụng của lò xo, có xu hướng trôi lên trên bề mặt của thanh 1. Khi thanh này lùi, phôi nặng dễ chìm con cóc, lùi khỏi phôi, con cóc trôi lên. Khi thanh 1 tiến, con cóc đẩy phôi tiến lên một bước. Sau đó chu kỳ lặp lại. Loại cơ cấu này rất đơn giản: thanh đẩy có thể là thép góc hay thép tròn, chỉ thực hiện chuyển động tiến lùi theo chu kỳ; có thể sử dụng cơ cấu truyền động khí nén hay thủy lực đơn giản. Nhược điểm là con cóc không giữ nguyên hướng của phôi lúc vận chuyển và không bảo đảm vị trí chính xác của phôi lúc dừng chuyển động. Để đạt độ chính xác phải giảm tốc độ vận chuyển cuối hành trình, như vậy tức là phải kéo dài chu kỳ gia công.

Cơ cấu vận chuyển từng bước với hai má quay hình 10.12b: thanh 1 quay, hai má của nó ngoạm phôi, rồi tiến một bước, sau đó thanh 1 quay ngược và lùi lại; phôi chờ bước di chuyển tiếp theo. Cơ cấu này bảo đảm phôi di chuyển chính xác từng bước. Độ chính xác phụ thuộc vào dung sai kích thước giữa các má và phôi. Tốc độ vận chuyển cho phép cao hơn cơ cấu con cóc. Thanh 1 có dạng hình trụ. Cần có hai loại chuyển động: quay và tịnh tiến.



Hình 10.12. Đường dây có cơ cấu vận chuyển phôi trực tiếp và xuyên vùng.

Cơ cấu vận chuyển từng bước với hai má nâng hạ hình 10.12c: thanh 1 cùng

các má được nâng lên rồi chuyển động dọc một bước, sau đó nó hạ xuống và lùi về vị trí ban đầu. Cơ cấu này phức tạp, dùng khi nào chỉ có thể ngoạm phôi từ một phía để vận chuyển và trước khi vận chuyển phải nâng phôi lên như trường hợp nâng phôi pittông vừa đúc xong để đưa nó đến vị trí khác.

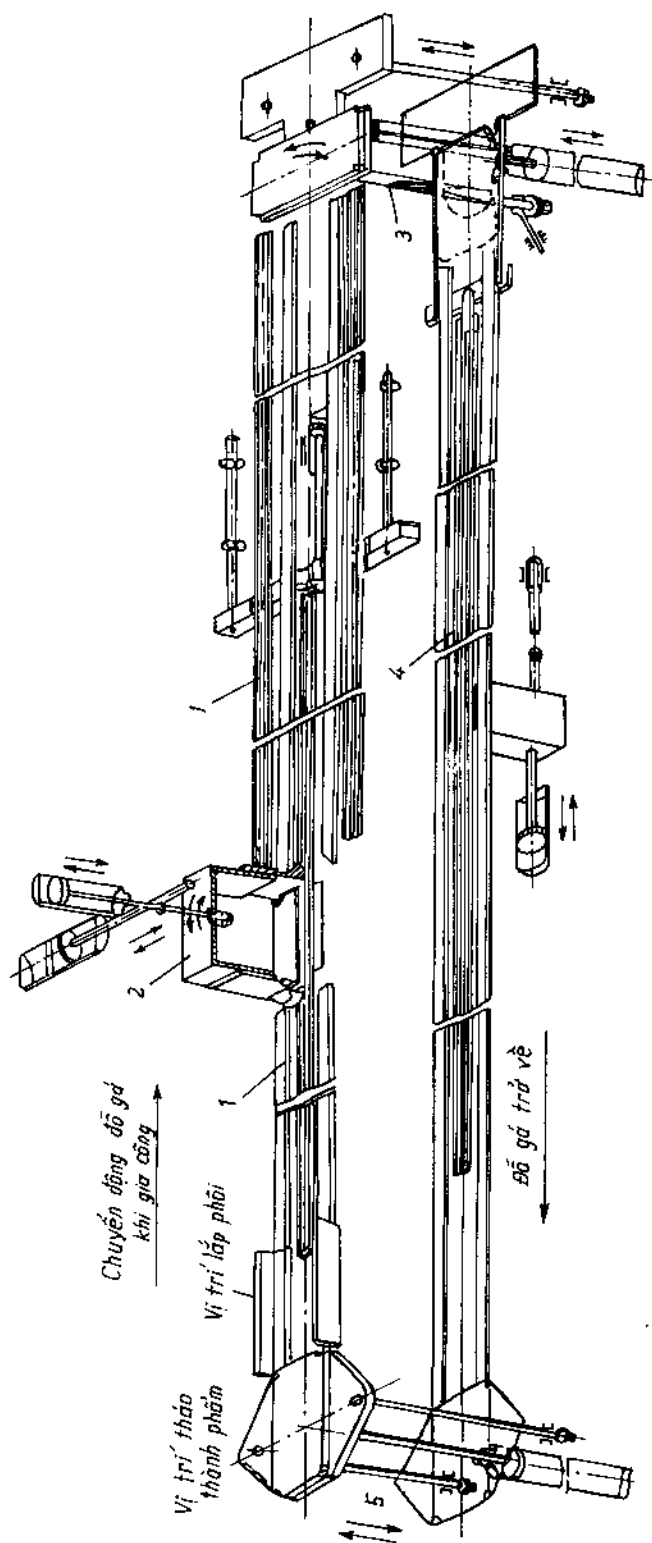
Cơ cấu vận chuyển từng bước với hai má kẹp nâng hình 10.12d: thanh 1 nâng lên, các má tự động kẹp phôi, sau khi di chuyển một bước, thanh 1 hạ xuống, phôi được nhả ra. Cơ cấu này đặt ở phía trên đường dây, rất công kênh. Trong trường hợp gia công các trục lớn, trục khuỷu, sử dụng cơ cấu này tương đối thuận tiện. Cơ cấu làm việc tốt nếu bộ phận kẹp đơn giản và tin cậy.

Cơ cấu đẩy từng bước hình 10.12e: kết cấu loại này rất đơn giản. Thanh đẩy (cán pittông thủy lực hay khí nén) tác động trực tiếp vào phôi mới lắp vào đường dây, từ đó các phôi kế tiếp đẩy lẫn nhau và di chuyển từng bước. Nếu phôi có trọng lượng lớn phải dùng hai thanh đẩy, thanh chính có bước dài bằng bước vận chuyển, thanh phụ có bước ngắn để trợ lực cho thanh chính lúc bắt đầu đẩy. Nhược điểm của cơ cấu này là khó định vị các phôi vì sai số tích lũy theo đường dài của các phôi làm cho chúng có những bước di chuyển không đều nhau. Không thể định vị các phôi cùng một lúc. Sau khi thanh đẩy lùi, các phôi lần lượt được định vị, bắt đầu từ phôi xa cơ cấu đẩy nhất. Do đó chu kỳ gia công kéo dài. Tuy vậy, cơ cấu đơn giản này vẫn dùng rộng rãi, nhất là khi phôi nặng, độ chính xác định vị không cao.

Cơ cấu vận chuyển xích (hình 10.12g) sử dụng nhiều khi phôi cần chuyển động liên tục trong quá trình gia công. Cơ cấu vận chuyển xích ít dùng khi cần di chuyển từng bước vì xích không cho phép định vị phôi chính xác trên đường dây, càng ngày các chốt xích càng mòn, sai số tích lũy càng lớn.

Nói chung có thể sử dụng các phương tiện khác nhau để thực hiện chuyển động tịnh tiến theo chu kỳ (thủy lực, khí nén, cơ khí,...), nhưng yêu cầu về chuyển động đại thể là giống nhau: cơ cấu đẩy phôi về phía trước, đổi sang tốc độ chậm ở cuối hành trình nếu cần, ngừng chuyển động, chờ phôi được định vị và kẹp chặt, lùi nhanh về vị trí cũ.

Cơ cấu vận chuyển phôi cùng với đồ gá vệ tinh trên đường dây tự động có kết cấu phức tạp, nó bao gồm các cơ cấu vận chuyển xuôi, vận chuyển ngược và hai cơ cấu chuyển tiếp xuôi ngược ở đầu và cuối đường dây. Cơ cấu vận chuyển xuôi không có gì đặc biệt, chủ yếu là cơ cấu vận chuyển từng bước, đưa đồ gá cùng với phôi từ vị trí này đến vị trí khác để gia công. Cơ cấu vận chuyển ngược cùng với hai cơ cấu chuyển tiếp có một số điểm đặc biệt về cách bố trí chúng. Đa số trường hợp đường vận chuyển ngược đặt ở trên hoặc ở dưới đường vận chuyển xuôi.

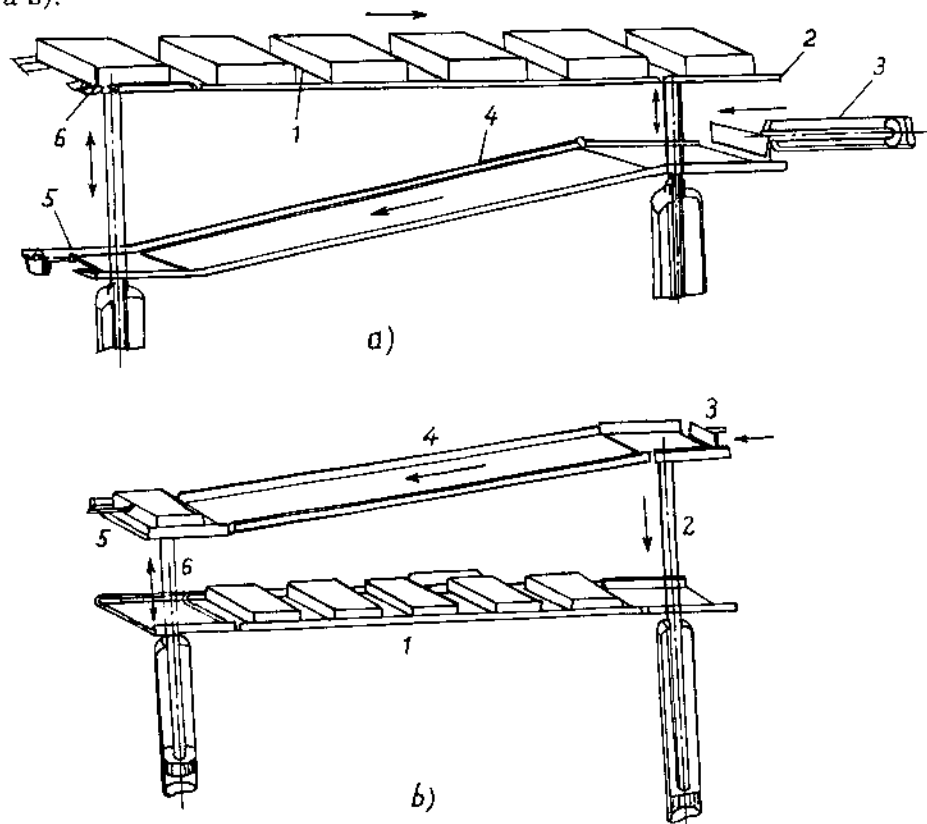


Hình 10.13. Đường dây gia công vỏ van nước với đồ gá vệ tinh.

1- đường vận chuyển xuôi; 2- thiết bị quay đồ gá; 3- đo cơ cấu nâng hạ; 4- đường vận chuyển ngược; 5- cơ cấu nâng.

Trên hình 10.13 là ví dụ đường dây gia công vỏ van nước với đồ gá vệ tinh, đường vận chuyển ngược đặt dưới đường vận chuyển xuôi. Đồ gá cùng với phôi di chuyển từng bước trên đường vận chuyển xuôi 1. Do nhu cầu gia công, ở vị trí giữa đường dây có đặt thiết bị 2 để quay đồ gá cùng với phôi một góc 90° trong mặt phẳng nằm ngang. Ở cuối đường dây, đồ gá cùng với phôi được cơ cấu nâng hạ 3 đưa xuống đường vận chuyển 4. Trong lúc hạ, đồ gá được quay một góc 90° ngược lại với chiều quay ở trên. Đến đầu đường dây, đồ gá được cơ cấu 5 nâng lên đường vận chuyển xuôi 1. Tại đây công nhân tháo thành phẩm và lắp phôi mới vào đồ gá. Cơ cấu vận chuyển có bước và tốc độ lớn hơn cơ cấu vận chuyển xuôi.

Trên các đường dây ngắn, đường vận chuyển ngược đồ gá đôi lúc có thể làm theo kiểu bề mặt trượt nghiêng đặt ở dưới hay ở trên đường vận chuyển xuôi (hình 10.14a và b).



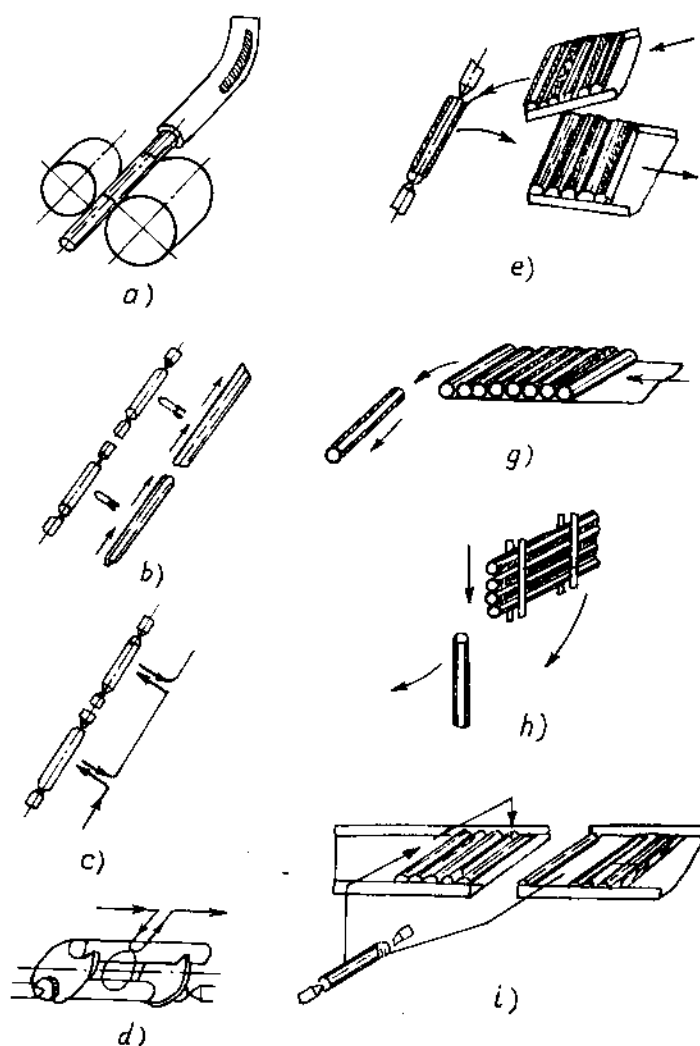
Hình 10.14. Đường dây vận chuyển ngược.

Đường vận chuyển ngược đặt trên đường vận chuyển xuôi dùng khi nào sản phẩm không lớn và đồ gá gọn nhẹ. Nhiều lúc người ta sử dụng cần trục hay cơ cấu xích để thực hiện vận chuyển ngược như khi gia công các trục nặng. Đôi khi người ta bố trí đường vận chuyển ngược nằm trên cùng một mặt phẳng với đường vận chuyển xuôi. Loại đường này có ưu khuyết điểm như đã trình bày ở phần đường dây có cơ cấu vệ tinh.

10.6.2. Cơ cấu vận chuyển loại phôi quay lúc gia công

Có rất nhiều loại cơ cấu vận chuyển trên đường dây sản xuất những sản phẩm quay lúc gia công. Trường hợp gia công các trục có thể tiến hành theo sơ đồ vận chuyển phôi như ở hình 10.15.

Khi gia công các trục hình trụ, các chốt bé, ngắn, có thể dùng đường ống để vận chuyển (hình 10.15a). Phôi chuyển động hướng trục nhờ thanh đẩy hay khí nén. Dĩ nhiên không dùng đường ống cho các trục lớn, dài vì kết cấu đường ống rất cồng kềnh.



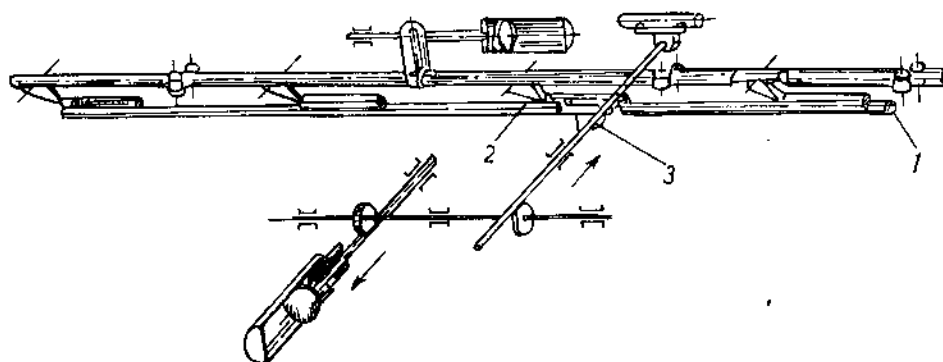
Hình 10.15. Các cơ cấu vận chuyển loại phôi quay lúc gia công.

Vận chuyển các chi tiết hình trụ cỡ vừa và cỡ lớn thường dùng các máng dẫn hay băng tải. Phôi có thể chuyển động dọc hướng trục hay chuyển động ngang, phôi chuyển động dọc như ở hình 10.15b,c,d đòi hỏi cơ cấu vận chuyển phức tạp hơn và

cần ổ trữ phôi đặc biệt để đảm bảo cho máy hoạt động liên tục. Phôi chuyển động ngang, hình 10.15e,g,h,i, có cơ cấu vận chuyển đơn giản hơn và đồng thời nó là ổ trữ phôi cho máng.

Bất kỳ vận chuyển như thế nào, dọc hay là ngang, phôi cũng đều trải qua các bước di chuyển: tháo phôi ra khỏi đường tâm của máy, đưa phôi từ máy đến cơ cấu vận chuyển chính, phôi chuyển động dọc theo đường dây để đến máy tiếp theo, đưa phôi từ cơ cấu vận chuyển chính vào máy, phôi được kẹp lại. Nếu sử dụng tay máy đơn (mỗi lần chỉ mang được một phôi) thì thời gian vận chuyển không trùng với thời gian gia công; nếu dùng tay máy kép (mỗi lần mang hai phôi, một phôi đưa vào vị trí gia công, một phôi chờ bên cạnh), thì thời gian vận chuyển ngang trùng một phần với thời gian gia công.

Trên hình 10.16 là sơ đồ cơ cấu vận chuyển với tay máy đơn của đường dây gia công trục động cơ điện. Trục chuyển động dọc theo máng dẫn 1. Đến vị trí máy gia công, tay máy 3 đưa phôi vào đường tâm của máy, chi tiết được gia công xong, tay máy mang phôi từ đường tâm của máy trả lại cho máng dẫn 1. Sau đó con cóc của thanh 2 đẩy phôi tiến lên một bước, tay máy của máy tiếp theo lại đưa phôi vào vị trí gia công. Như vậy, thời gian vận chuyển không trùng với thời gian gia công.



Hình 10.16. Cơ cấu vận chuyển với tay máy đơn của đường dây gia công trục động cơ điện.

Trên hình 10.15d là sơ đồ nguyên tắc cơ cấu vận chuyển với tay máy kép. Tay máy có hai bộ phận cặp: một bộ phận cặp phôi vừa được gia công xong trên đường tâm của máy, bộ phận khác cặp phôi mới trên đường vận chuyển dọc. Tay máy quay 180°: phôi đã và phôi chưa gia công đổi vị trí cho nhau. Như vậy một số động tác vận chuyển trùng với nhau và với thời gian gia công. Nhược điểm của cơ cấu này là bộ phận quay nằm trong vùng gia công, làm trở ngại cho sự hoạt động của máy. Theo sơ đồ hình 10.15c có thể đưa cơ cấu cặp phôi ra khỏi vùng gia công sau khi phôi vừa

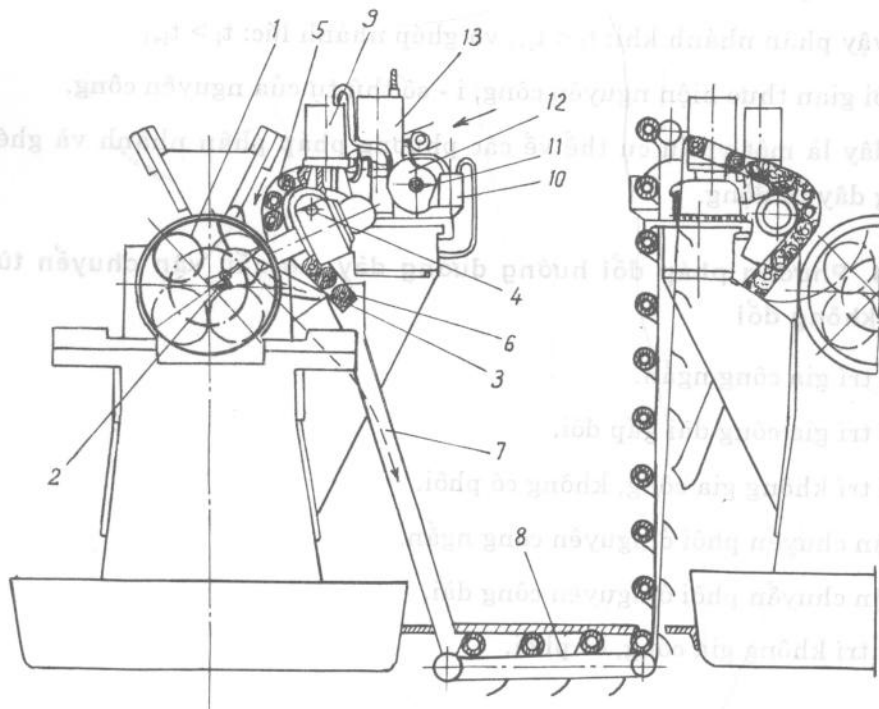
kẹp chặt vào đường tâm của máy, tránh được nhược điểm nói trên. Ở đây phải bố trí các tay máy hoạt động lệch pha.

Đối với các chi tiết trong xoay kiểu vành, đĩa, người ta sử dụng nhiều loại cơ cấu vận chuyển khác nhau. Đa số những sản phẩm này dễ lăn, cho nên người ta thường dùng các máng dẫn để vận chuyển phôi theo các đường vận chuyển chính và đường vận chuyển phụ vào ra cho từng máy, ví dụ, đường gia công vành ổ bi.

Trên hình 10.17: 1- khối tiện chính của máy tiện tự động; 2- vị trí cấp phôi; 3- tay máy; 4- tâm quay của tay máy; 5- máng trữ phôi để gia công; 6- chỗ tay máy gấp phôi đưa vào trục chính; 7- máng dẫn phôi ra; 8- cơ cấu vận chuyển phôi đến máy tiếp theo; 9- xylanh khí nén quay tay máy 3 để lấy phôi từ máng vào; 10- van điều khiển xylanh khí nén; 11,12- trục và cam của cơ cấu điều khiển; 13- xylanh khí nén quay tay máy 3 xung quanh đường tâm của nó để lắp phôi vào trục chính.

Đối với những sản phẩm khó lăn, ví dụ, bánh răng, người ta thường dùng máng trượt hay cơ cấu vận chuyển từng bước và ở mỗi vị trí gia công có tay máy riêng để đưa phôi vào và đưa phôi ra. Bố trí hoạt động của những tay máy này sao cho thời gian vận chuyển trùng đến mức tối đa với thời gian gia công.

Để vận chuyển các sản phẩm bé như ốc, vít, chốt,... hay dùng các băng tải. Trong quá trình vận chuyển phôi không định hướng.



Hình 10.17. Đường dây gia công vành ổ bi.

Một máy có ổ trữ phôi và cơ cấu định hướng riêng. Khi nhiều máy thực hiện một nguyên công, việc phân phối bán thành phẩm có thể tiến hành hai cách: theo địa chỉ và không theo địa chỉ. Ngoài ra, người ta còn sử dụng dây chuyền gàu xúc, dây chuyền hộp chứa, trục xoắn cánh lớn, cơ cấu rung động,... để vận chuyển loại phôi bé.

10.6.3. Cơ cấu vận chuyển trên đường dây có phân nhánh

Phân nhánh đường dây được áp dụng khi năng suất của thiết bị trên đường dây không đồng đều nhau: nguyên công dài (so với nhịp gia công), phải có nhiều máy thực hiện. Vì phân nhánh, cơ cấu vận chuyển sẽ trở nên phức tạp.

Đối với đường dây có cơ cấu vận chuyển liên kết cứng giữa các máy, sự phân nhánh và ghép nhánh có thể thực hiện bằng nhiều phương pháp:

- Đổi hướng đường dây, thường là một góc 90° .
- Sử dụng cơ cấu vận chuyển có bước thay đổi theo chu kỳ.
- Sử dụng cơ cấu vận chuyển phôi cho từng nhánh theo chu kỳ.
- Sử dụng cơ cấu tích trữ phôi ở mỗi nguyên công.
- Sử dụng đường dây rôto với tốc độ quay khác nhau.

Quá trình ghép nhánh làm ngược lại quá trình phân nhánh.

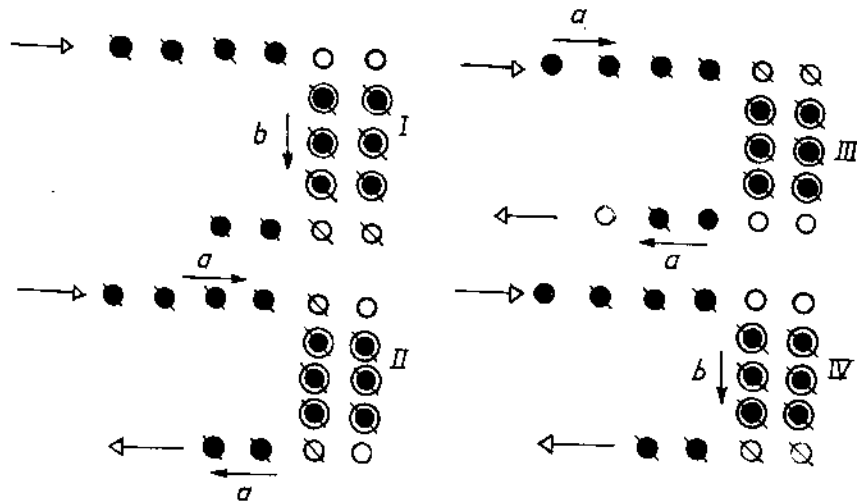
Như vậy phân nhánh khi: $t_i < t_{i+1}$ và ghép nhánh lúc: $t_i > t_{i+1}$

t - thời gian thực hiện nguyên công; i - số thứ tự của nguyên công.

Sau đây là một ví dụ cụ thể về các phương pháp phân nhánh và ghép nhánh trên đường dây tự động.

10.6.4. Phương pháp đổi hướng đường dây, cơ cấu vận chuyển từng bước không đổi

- vị trí gia công ngắn.
- vị trí gia công dài gấp đôi.
- vị trí không gia công, không có phôi.
 - a vận chuyển phôi ở nguyên công ngắn.
 - b vận chuyển phôi ở nguyên công dài.
- ⊗ vị trí không gia công, có phôi.



Hình 10.18. Sơ đồ đường dây từ nhánh đơn chia thành nhánh đôi.

Trên hình 10.18 là sơ đồ đường dây từ nhánh đơn chia thành nhánh đôi và sau đó nhập lại, nhánh đơn và nhánh đôi thẳng góc nhau. Ở chỗ phân và ghép nhánh có các vị trí không gia công. Tại những vị trí này các bán thành phẩm đã được gia công trước đó, chờ để chuyển sang nhánh khác. Bán thành phẩm dời chỗ ở nhánh đơn sau mỗi nhịp gia công, còn ở nhánh đôi phải sau hai nhịp I, II, III, IV. Hình 10.18 là các giai đoạn hoạt động của cơ cấu vận chuyển. Ở giai đoạn I và IV: cơ cấu vận chuyển nhánh đôi hoạt động, ở giai đoạn II: cơ cấu vận chuyển nhánh đơn dời 1 phôi đến vị trí không gia công; ở giai đoạn III: cơ cấu vận chuyển nhánh đơn dời phôi thứ 2 đến vị trí không gia công.

Phương pháp này thường dùng ở các đường dây gia công một số loại vỏ hộp (đôi khi có kết hợp gia công chi tiết từ 4 mặt).

10.6.5. Phương pháp sử dụng cơ cấu vận chuyển có bước thay đổi theo chu kỳ cho đường dây thẳng không nhánh

Trên hình 10.19 là sơ đồ đường dây bố trí thẳng có nguyên công ngắn và nguyên công dài gấp đôi, có hai cơ cấu vận chuyển: cơ cấu chính dời phôi một bước sau mỗi nhịp gia công, cơ cấu phụ sau hai nhịp mới hoạt động và có bước gấp đôi. Các ký hiệu ở hình 10.18 cũng giống như ở hình 10.19. Giữa những đoạn đường dây với thời gian gia công khác nhau có đặt vị trí không gia công.

Giai đoạn I: bắt đầu gia công ở các vị trí.

Giai đoạn II: sau khi các nguyên công ngắn chấm dứt ở giai đoạn I, cơ cấu vận chuyển chính dời phôi ở các nguyên công ngắn đi một bước (mũi tên K).

Giai đoạn III: sau khi các nguyên công ngắn và dài chấm dứt ở giai đoạn II, cơ

cấu vận chuyển chính dời phôi ở các nguyên công ngắn đi một bước (mũi tên K), đồng thời cơ cấu vận chuyển phụ dời phôi ở các nguyên công dài đi hai bước (mũi tên M), rồi trở lại như giai đoạn I.

Nếu tốc độ cơ cấu vận chuyển phụ gấp đôi tốc độ cơ cấu vận chuyển chính thì thời gian dành cho vận chuyển phôi vẫn như trường hợp có cơ cấu vận chuyển phụ.

Đôi khi bố trí đường dây thẳng không nhánh, nhưng chỉ dùng một cơ cấu vận chuyển để phân phối bán thành phẩm giữa đoạn có nguyên công ngắn và đoạn có

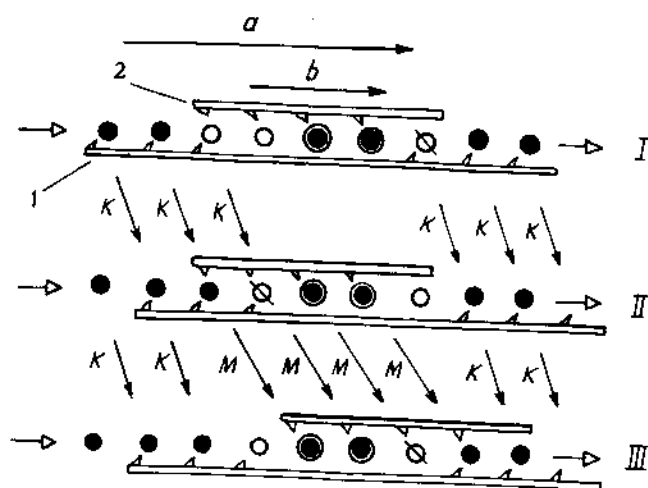
nguyên công dài. Lúc bấy giờ cơ cấu này chuyển động bước ngắn và cứ sau hai nhịp gia công lại có một lần chuyển động bổ sung để dời phôi ở những nguyên công dài đi hai bước, tức là cứ sau một hành trình đơn lại có một hành trình kép. Trong cơ cấu này khi cần chuyển phôi nào thì con cóc ở vị trí ấy mới trồi lên, cho nên bộ phận điều khiển có phần phức tạp hơn. Nhược điểm chủ yếu của loại này là thời gian chuyển phôi dài hơn vì có thêm bước vận chuyển bổ sung sau hai chu kỳ gia công.

Còn một phương pháp nữa để phân phối bán thành phẩm giữa các đoạn trên đường ray thẳng không nhánh: cơ cấu vận chuyển chỉ có một, luôn luôn chuyển động với bước dời dài để dời phôi cho những nguyên công dài và khi nó chuyển động được nửa bước thì những con cóc giữ phôi sụp xuống ở những vị trí có nguyên công ngắn. Việc điều khiển các con cóc trong cơ cấu này phức tạp, thời gian vận chuyển ngắn hơn phương pháp vừa trình bày, nhưng dài hơn so với trường hợp có cơ cấu vận chuyển phụ.

10.6.6. Phương pháp sử dụng cơ cấu vận chuyển phôi theo chu kỳ lần lượt cho từng nhánh song song của đường dây

Trong phương pháp này, thiết bị cho nguyên công dài bố trí thành hai nhánh song song và bán thành phẩm được phân phối lần lượt cho từng nhánh.

Trên đường dây theo sơ đồ hình 10.20a có sử dụng cơ cấu đặc biệt để lần lượt



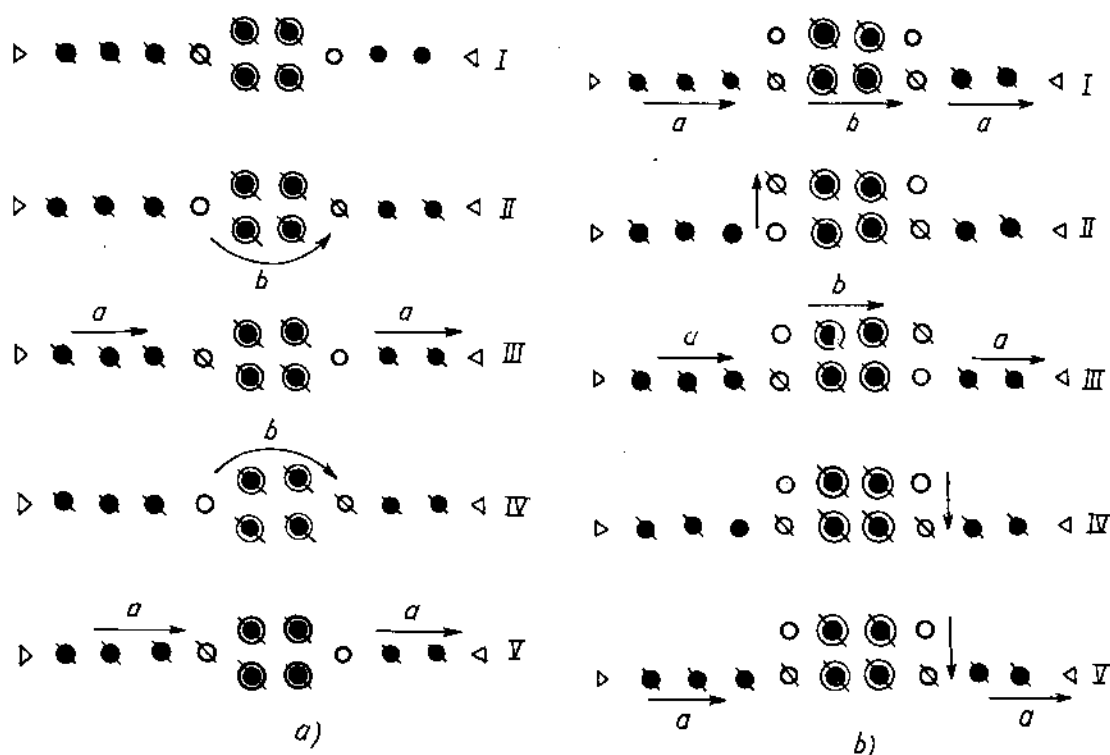
Hình 10.19. Sơ đồ đường dây bố trí thẳng có nguyên công ngắn và nguyên công dài gấp đôi.

- 1- Cơ cấu vận chuyển chính bước ngắn;
- 2- Cơ cấu vận chuyển phụ bước gấp đôi.

chia loại phôi bé cho từng nhánh như các đường dây gia công vỏ ổ bi, bạc ngắn. Các máy trong mỗi nhánh được nhận phôi cùng một lúc. I- trước lúc vận chuyển phôi; II- vận chuyển phôi cho từng nhánh thứ nhất; III- vận chuyển phôi ở các đoạn đường dây có nguyên công ngắn; IV- vận chuyển phôi cho nhánh thứ hai; V- như ở giai đoạn I.

Trong trường hợp phôi nặng phải áp dụng sơ đồ hình 10.20b. Ở đây có cơ cấu vận chuyển phôi ngang cho nhánh thứ hai: I- sau khi vận chuyển phôi cho nhánh thứ nhất và các đoạn có nguyên công ngắn; II- chuyển phôi ngang cho nhánh thứ hai; III- sau khi cho vận chuyển phôi ở nhánh thứ hai và các đoạn có nguyên công ngắn; IV- chuyển phôi ngang từ nhánh thứ hai sang nhánh chính; V- như giai đoạn I.

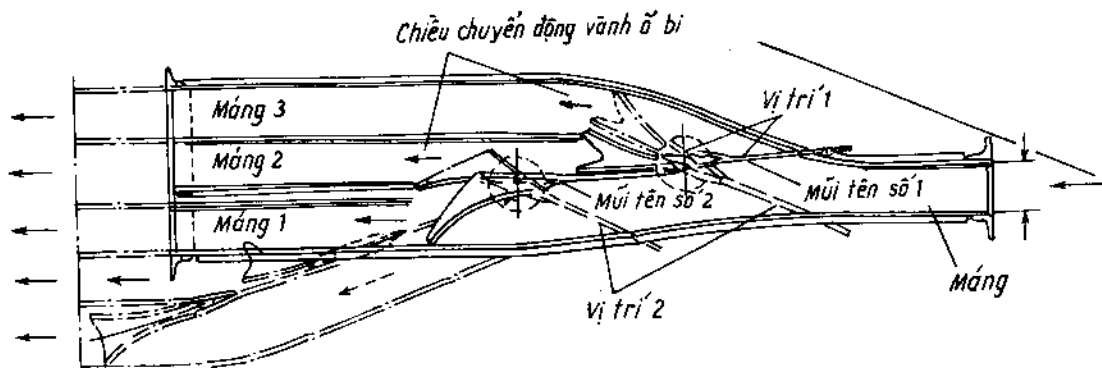
Đường dây gia công trục bánh xe lửa của hãng Cross dùng phương pháp này.



Hình 10.20. Cơ cấu vận chuyển phôi theo chu kỳ lần lượt cho từng nhánh song song của đường dây.

10.7. PHƯƠNG PHÁP SỬ DỤNG CƠ CẤU TRỮ PHÔI Ở MỖI NGUYÊN CÔNG

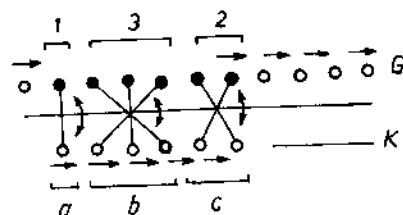
Trên hình 10.21 là ví dụ cơ cấu mũi tên tự động quay để lần lượt chia loại phôi lăn hay trượt cho từng nhánh như đường dây gia công vỏ ổ bi, bạc ngắn.



Hình 10.21. Đường dây sử dụng cơ cấu trữ phôi ở mỗi nguyên công.

Trên hình 10.22 là ví dụ đường dây áp dụng phương pháp này: G- vị trí gia công; K- vị trí nhận phôi từ nguyên công trước đó để dự trữ; a- nguyên công ngắn; b- nguyên công dài gấp ba nguyên công a; c- nguyên công dài gấp đôi nguyên công a. Phôi của mỗi nguyên công đặt trên một bàn riêng, bàn này quay 1 góc 180° sau mỗi lần hoàn thành nguyên công để đưa bán thành phẩm từ G xuống K và phôi mới từ K lên G.

Quá trình làm việc như sau: khi gia công xong, bàn quay đi 180° , đưa bán thành phẩm từ vị trí G xuống K. Một phôi mới được lắp vào vị trí G của bàn a, đồng thời bán thành phẩm của bàn a chuyển một bước sang bàn b; sau ba lần như vậy, vị trí K của bàn b đã tích trữ đủ phôi, bàn b quay 180° , đưa ba phôi lên vị trí G để gia công. Bàn a quay ba lần nữa, chuyển ba bán thành phẩm mới cho bàn b. Sau đó bàn b quay 180° đưa ba phôi đã được gia công ở vị trí G xuống vị trí K, 3 phôi mới lên vị trí G để gia công. Bàn b lần lượt chuyển bán thành phẩm sang bàn c và nhận phôi từ bàn a. Khi tích trữ đủ hai phôi, bàn c quay 180° , để đưa phôi lên vị trí gia công G. Gia công xong, bàn C đưa phôi ra ngoài và lại quay 180° , đưa hai phôi mới lên vị trí gia công G và tích trữ phôi ở vị trí K. Quá trình cứ tiếp diễn. Phương pháp này dùng trên đường dây gia công đạn pháo của hãng J. Barnes.



Hình 10.22. Cách đưa phôi dự trữ đến cửa ra.

10.8. TRỮ PHÔI GIỮA CÁC NGUYÊN CÔNG TRÊN ĐƯỜNG DÂY TỰ ĐỘNG

10.8.1. Các vấn đề chung

Đường dây tự động xuất hiện ngày càng nhiều trong sản xuất hàng loạt và hàng khối để gia công sản phẩm tương đối phức tạp với năng suất cao và giá thành hạ. Nhưng so với phương pháp sản xuất theo dây chuyền thông thường, đường dây

tự động đòi hỏi nhiều thời gian để điều chỉnh các cơ cấu của nó và sự tổn thất thời gian này không mang tính cục bộ: nếu giữa các thiết bị gia công có mối liên kết cứng thì cả đường dây ngừng hoạt động, khi một thiết bị nào đó hư hỏng, vì quá trình chuyển tiếp phôi liệu từ máy này đến máy khác bị gián đoạn.

Để giảm tổn thất thời gian của toàn bộ đường dây, giữa các thiết bị gia công không làm theo kiểu liên kết cứng, mà là liên kết có phần “co giãn”, tức là đưa vào giữa đường dây những cơ cấu trữ phôi. Với cách làm như thế, đường dây chia thành nhiều đoạn, giữa các đoạn có ổ trữ phôi. Nếu thiết bị trong đoạn nào hư hỏng thì chỉ đoạn ấy ngừng hoạt động, các đoạn khác vẫn tiếp tục gia công, cho nên tổn thất chung sẽ giảm. Lượng trữ phôi giữa đường dây càng lớn thì tổn thất chung về thời gian càng giảm và hệ số sử dụng thiết bị đường dây càng cao.

Ổ trữ phôi có nhiều loại khác nhau: loại tự động dùng cho những phôi nhỏ và vừa; loại bán tự động, đôi khi chỉ là hệ thống máng trượt, dùng cho những phôi lớn, nặng. Nhưng yêu cầu đối với chúng giống nhau, tức là chứa và cung cấp phôi kịp thời khi cần thiết. Tốt nhất làm thế nào để: $t_0 \leq \tau$

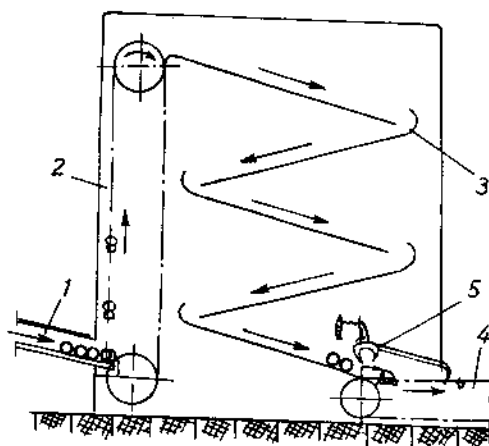
t_0 - thời gian phôi đi ngang qua ổ trữ phôi từ cuối đoạn trước đến đầu đoạn sau của đường dây trong trường hợp phôi không chờ đợi (trong ổ không còn phôi nào khác).

τ - nhịp sản phẩm hay chu kỳ gia công một sản phẩm.

Nếu tốc độ phôi di chuyển trong ổ càng chậm thì hiệu quả giảm tổn thất chung của đường dây càng thấp; nếu chậm đến mức nào đó thì ổ trữ phôi không còn tác dụng nữa vì ổ không cung cấp phôi kịp thời cho đoạn sau của đường dây.

10.8.2. Các loại trữ phôi

Căn cứ vào chế độ làm việc, các ổ trữ phôi chia làm hai loại chính:



Hình 10.23. Ổ trữ phôi loại một chế độ làm việc dồn phôi đến cửa ra.

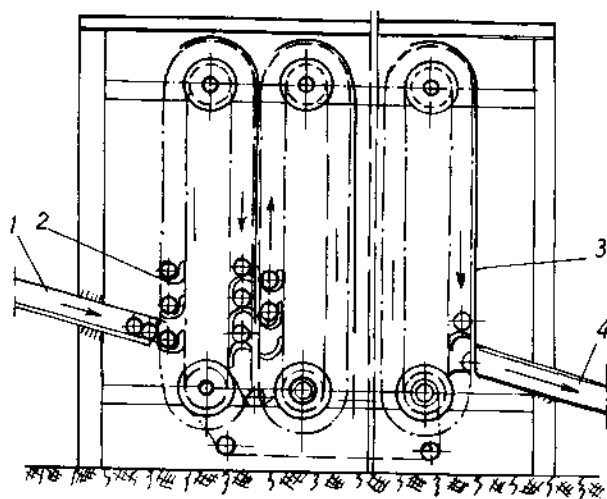
+ Loại một chế độ làm việc: lúc cấp phôi cho đoạn sau, bất kỳ đoạn trước làm việc hay không làm việc, tất cả phôi nằm trong ổ đều di chuyển.

+ Loại hai chế độ làm việc: lúc cấp phôi cho đoạn sau, nếu đoạn trước làm việc thì chỉ một số phôi di chuyển (phôi của đoạn trước đi thẳng đến sau), số còn lại nằm yên; nếu đoạn trước ngừng hoạt động thì tất cả phôi tích trữ trong ổ mới di chuyển. Loại hai chế độ làm việc có kết cấu phức tạp hơn, nhưng sử dụng rộng hơn loại một chế độ làm việc.

Mỗi loại như vậy lại có hai cách đưa phôi dựa trữ đến cửa ra: cách dồn phôi đến cửa ra và cách không dồn phôi đến cửa ra.

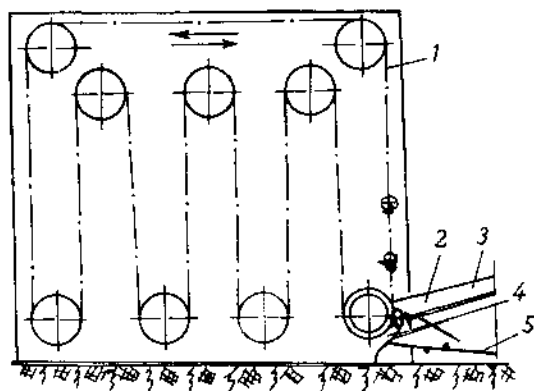
Trên hình 10.23 là ổ trữ phôi loại một chế độ làm việc dồn phôi đến cửa ra: phôi từ máng thu 1 được cơ cấu nâng thẳng đứng 2 đưa sang hệ thống máng nghiêng 3 và rơi từng chiếc vào băng tải ra 4 nhờ cơ cấu chấn từng phôi 5.

Ổ trữ phôi loại một chế độ không dồn hết phôi đến cửa ra, hình 10.24: phôi từ máng thu 1 theo cơ cấu nâng 2 và được chuyển cho những cơ cấu tương tự qua cửa sổ của tấm chắn 3 và cuối cùng rơi vào máng ra 4.



Hình 10.24. Ổ trữ phôi loại một chế độ không dồn hết phôi đến cửa ra.

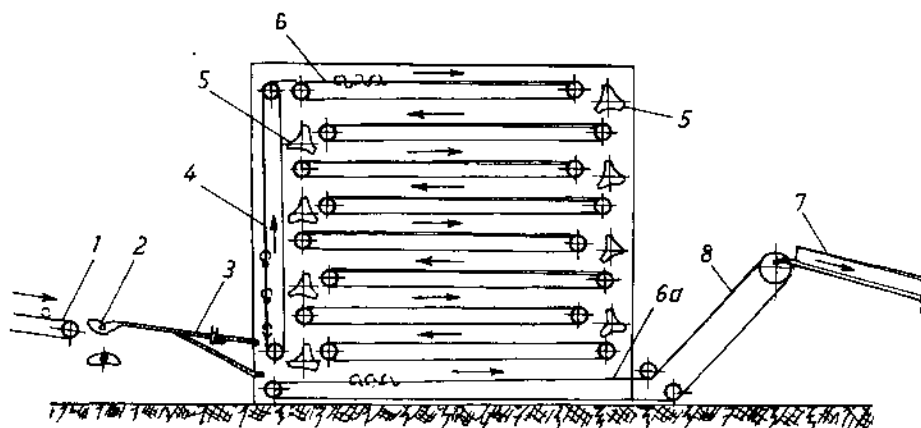
Trên hình 10.25 là ổ trữ phôi hai chế độ làm việc dồn phôi đến cửa ra: khi cần tích trữ (đoạn sau của đường dây không làm việc), phôi từ máng thu 3, qua tấm chắn 2 đến cơ cấu vận tải tích trữ phôi 1. Khi không tích trữ (hai đoạn đường dây đều làm việc) tấm chắn 2 được nâng cao và phôi từ máng thu 3 đi thẳng đến máng ra 5. Khi cần tiêu thụ lượng phôi tích trữ, tấm chắn 2 hạ xuống, cơ cấu tích trữ phôi chuyển động ngược lại, phôi từ 1 qua 2 rồi vào máng 5.



Hình 10.25. Ổ trữ phôi hai chế độ làm việc dồn hết phôi đến cửa ra.

Trên hình 10.26 là ổ trữ phôi hai chế độ làm việc không dồn hết phôi đến cửa ra: khi tích trữ, phôi từ băng tải thu 1 qua máng nghiêng 2 và tấm chắn 3 đến cơ cấu vận chuyển 4 và các băng tải nằm ngang 6 nhờ cơ cấu hướng phôi 5.

Khi không tích trữ, tấm chắn 3 hạ xuống, phôi từ 2 đến băng tải 6a và 8, rồi theo máng 7 đến đoạn đường dây sau. Khi tích trữ, nếu trong ổ đầy phôi, các ổ sẽ phát tín hiệu để đoạn đường dây trước ngừng hoạt động.



Hình 10.26. Ổ trữ phôi hai chế độ làm việc không dồn hết phôi đến cửa ra.

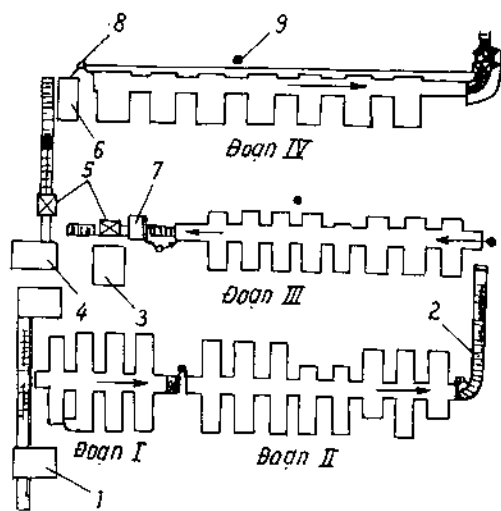
Ổ trữ phôi cho các đường dây tự động có rất nhiều loại. Các sơ đồ trên chỉ là ví dụ minh họa về nguyên tắc làm việc của chúng. Ổ trữ phôi có khi rất đơn giản, chúng chỉ là cái phễu cấp phôi thông thường, một số máng trượt hay máng lăn bố trí theo một qui tắc nhất định..., nhưng phần lớn chúng có kết cấu phức tạp. Có ổ chứa đến hàng nghìn phôi như trên đường dây gia công vỏ ổ bi, pittông, ... Ổ những ổ này có thiết bị điều khiển tương đối phức tạp, có bộ phận đếm số phôi nhận vào và cấp ra, v.v... Đôi khi ổ trữ phôi có trang bị các tay máy khá phức tạp để thu nhận hay cung cấp phôi như ở đường dây gia công bánh răng, v.v...

10.8.3. Vị trí ổ trữ phôi trên đường dây tự động

Đặt ổ trữ phôi chỗ nào, lượng dự trữ bao nhiêu cho có lợi nhất là vấn đề cần phải tính toán kỹ tùy theo điều kiện cụ thể của đường dây. Ổ trữ phôi có cùng một dung tích đặt ở vị trí khác nhau sẽ đưa lại hiệu quả sử dụng đường dây khác nhau. Ở mỗi đường dây cụ thể có một hay một số vị trí hợp lý nhất cho ổ trữ phôi. Về lý thuyết, vị trí thích hợp nhất là chỗ chia đường dây thành những đoạn có độ tin cậy làm việc như nhau, tức là khối lượng gia công, số lần hỏng hóc các cơ cấu máy, thời gian điều chỉnh thiết bị,... phải gần như nhau.

Trên thực tế thường dựa vào đặc điểm của quy trình công nghệ mà chia đoạn đường dây: đặt ở nơi mà phôi cần thay đổi hướng (lật, xoay...) để tiếp tục gia công, hay nơi mà các nguyên công cùng tính chất đã hoàn thành, sau đó thực hiện những nguyên công với tính chất khác.

Trên hình 10.27 là ví dụ phân đoạn đường dây gia công vỏ động cơ ô tô ZIL-150 dựa vào đặc điểm công nghệ. Đường dây có 4 đoạn. Phôi nặng nên ổ là những băng chứa với các con lăn (để đỡ đỡ phôi) nằm giữa các đoạn. Ở đoạn I: phôi nằm ngang so với đường vận chuyển, đáy ở trên. Ở đoạn II: phôi nằm dọc, đáy ở trên (quay 1 góc 90° trong mặt phẳng nằm ngang). Ở đoạn III: phôi nằm dọc, nhưng đáy ở dưới (quay 1 góc 180° trong mặt phẳng đứng). Ở đoạn IV: phôi trở lại như ở đoạn I (hai lần quay ngược lại).



Hình 10.27. Phân đoạn đường dây gia công vỏ động cơ ô tô ZIL-150.

Hình 10.27 là ví dụ chia đường dây mài vô tâm thành những đoạn có độ tin cậy làm việc như nhau. Ở đây có thuận lợi là tính chất, khối lượng gia công và thiết bị của từng đoạn giống nhau.

10.9. ĐIỀU KHIỂN ĐƯỜNG DÂY TỰ ĐỘNG

10.9.1. Các vấn đề chung

Để thực hiện quy trình gia công sản phẩm trên nhiều thiết bị khác nhau phải có hệ thống điều khiển toàn bộ đường dây. Hệ thống này bao gồm:

- Hệ thống điều khiển thứ tự hoạt động các thiết bị.
- Hệ thống bảo hiểm cho thiết bị và cho người.
- Hệ thống điều chỉnh thiết bị và dụng cụ.
- Hệ thống kiểm tra chất lượng sản phẩm.
- Hệ thống điều khiển phục vụ cho điều chỉnh nhỏ và báo hiệu cho công nhân phục vụ về tình trạng làm việc của đường dây.

Tất cả các hệ thống này đều có quan hệ với nhau thông qua 4 loại mạch điều khiển sau:

1. Mạch điều khiển ngoài: phối hợp sự hoạt động giữa các đoạn của đường dây.

2. Mạch điều khiển trung gian: phối hợp sự hoạt động giữa các thiết bị của một đoạn đường dây.

3. Mạch điều khiển trong: bảo đảm sự hoạt động theo thứ tự các bộ phận trong mỗi máy.

4. Mạch điều khiển phụ: phối hợp sự hoạt động của các mạch khác trên đường dây cho thiết bị chính và thiết bị phụ.

Phương tiện điều khiển thường vẫn là điện, điện tử, cơ khí, thủy khí, và hỗn hợp.

10.9.2. Hệ thống điều khiển đường dây tự động

Khi thiết kế hệ thống điều khiển phải chú ý đến chức năng, thành phần thiết bị, sự bố trí và kích thước của đường dây, cũng như chu kỳ gia công dài hay ngắn để chọn hình thức và phương tiện điều khiển. Có ba hình thức điều khiển: điều khiển tập trung, điều khiển phân tán và điều khiển hỗn hợp.

Điều khiển tập trung:

Trên đường dây tự động có thể dùng hình thức điều khiển tập trung bằng trực phân phối hay cơ cấu phát tín hiệu.

Trực phân phối được sử dụng khi phương tiện mạch điều khiển trung gian và điều khiển trong là cơ khí. Trực phân phối ở đây vẫn là trực có nhiều cam với hệ thống cần lắc hay cần đẩy, quay với tốc độ đều. Đôi khi dùng chuyển động có tính chất chu kỳ của cơ cấu vận chuyển để làm trực phân phối. Điều khiển bằng trực phân phối không cho phép kiểm tra mức độ hoàn thành của các nguyên công mà chỉ điều khiển theo thời gian, cho nên sử dụng nó khi các bước trong chu kỳ gia công được phân định rõ ràng.

Nếu phương tiện điều khiển trung gian và điều khiển trong không phải là cơ khí thì trực phân phối được thay thế bằng cơ cấu phát tín hiệu. Đây là một trực có nhiều đĩa, trên vành đĩa có nhiều vấu để đóng mở các công tắc điện đặt xung quanh đĩa hay để điều khiển các van trượt thủy khí lực. Nếu cơ cấu phát tín hiệu này quay liên tục thì nó giống như trực phân phối thường và không kiểm tra được sự hoàn thành của các nguyên công, nếu nó không quay liên tục theo chu kỳ thì việc điều khiển sẽ linh hoạt hơn, có thể kiểm tra sự hoàn thành nguyên công: khi nào xong nguyên công mới có tín hiệu để cơ cấu tiếp tục quay. Nhờ đó có thể thay đổi thời gian thực hiện các nguyên công riêng lẻ mà không ảnh hưởng đến thời gian thực hiện nguyên công khác. Do đó, nó được sử dụng rộng rãi hơn mặc dù chu kỳ gia công có dài hơn, vì ngoài thời gian thực hiện các nguyên công phải kể đến thời gian đóng mở của các cơ cấu điều khiển.

Điều khiển phân tán:

Trong hình thức điều khiển này các cơ cấu phát tín hiệu không đặt tập trung và khi đã hoàn thành nguyên công trước mới có tín hiệu để thực hiện nguyên công tiếp theo. Có hai cách báo hiệu về hoàn thành nguyên công: theo thời gian và theo hành trình của các cơ cấu ấy.

Theo cách thứ nhất, mỗi một nguyên công được quy định thực hiện trong một thời gian nào đó và có dụng cụ riêng để đo thời gian ấy. Vì thế số dụng cụ đo bằng số nguyên công, hoặc bằng số động tác thực hiện nối tiếp trên đường dây.

Cách điều khiển này ưu điểm ở chỗ có thể điều chỉnh thời gian thực hiện từng nguyên công, từng bước hoạt động của đường dây riêng rẽ nhau, trong khi điều khiển bằng trục phân phối không thể làm như thế được. Nhược điểm là thời gian thực hiện các nguyên công không cố định, nó phụ thuộc vào độ chính xác của các dụng cụ đo thời gian. Phải điều khiển thế nào cho thời gian của dụng cụ dài hơn thời gian thực tế của nguyên công để bù sai số, cho nên chu kỳ gia công dài hơn mức cần thiết. Tổn thất thời gian càng lớn nếu số nguyên công càng nhiều và càng ngắn. Đây là nguyên nhân chính hạn chế việc sử dụng hệ điều khiển phân tán theo thời gian.

Theo cách thứ hai đặt các phần tử cảm biến ở cuối hành trình của các cơ cấu máy để báo hiệu về hoàn thành nguyên công hay bước hoạt động của đường dây. Thường thường các phần tử này là những công tắc hành trình. Đôi khi sử dụng các phần tử loại khác để đo sức cản của chuyển động (đo áp suất, đo cường độ dòng điện...).

Điều khiển phân tán theo hành trình được sử dụng rộng rãi hơn vì độ tin cậy làm việc cao. Nhược điểm của nó là chu kỳ gia công dài hơn mức cần thiết vì phải kể đến thời gian hoạt động của các cảm biến. Ngoài ra nằm ở các vùng gia công, những cảm biến vừa choán chỗ, vừa làm việc trong điều kiện không thuận lợi: nước làm nguội, dầu bôi trơn, phoi, bụi, nhiệt..., do đó phải có biện pháp đặc biệt để bảo vệ chúng.

Trong điều khiển phân tán, đường dây càng phức tạp, thiết bị đo đạc càng nhiều, tần số hoạt động càng cao, chúng càng mau hỏng, cho nên thời gian sửa chữa càng tăng. Mỗi một công tắc sau 20.000 lần hoạt động phải tốn một phút để điều chỉnh lại. Con số này không phải là nhỏ đối với những đường dây dài, phức tạp. Trong thực tế, trên một đường dây có đến hơn 57.000 lần dụng cụ hoạt động trong một giờ, cho nên thời gian ngừng đường dây không phải là ít.

Điều khiển hỗn hợp:

Trên đường dây sử dụng trục phân phối và hệ thống cảm biến để kiểm tra việc

thực hiện các nguyên công quan trọng. Nếu đường dây làm việc bình thường thì trục phân phối quay đều, liên tục. Nếu có tín hiệu về một nguyên công nào đó chưa hoàn thành thì trục phân phối ngừng lại cho đến khi hoàn thành nguyên công. Hình thức điều khiển này tốt ở chỗ giảm được tổn thất trong chu kỳ và đường dây làm việc theo tốc độ của trục phân phối, cho nên chu kỳ do trục phân phối quyết định và chỉ kéo dài khi cần thiết. Trục phân phối đóng vai trò kế hoạch viên, chứ không đơn thuần là cơ cấu phát tín hiệu trực tiếp.

Để rút ngắn thời gian chu kỳ phải sử dụng phương pháp chọn trước tín hiệu. Hệ thống điều khiển phải cấu tạo sao cho ở cuối nguyên công (n-1) thì đã phát lệnh không những cho nguyên công n, mà cho cả nguyên công (n+1) nữa. Tất cả thiết bị phục vụ cho nguyên công (n + 1) bắt đầu hoạt động và ở tư thế sẵn sàng. Khi hoàn thành nguyên công n thì nguyên công (n + 1) có thể làm việc ngay.

Phương pháp này có hiệu quả cụ thể, chẳng hạn, trên đường dây 5 ÷ 10 máy, mỗi chu kỳ gia công cần 150 ÷ 250 tín hiệu, mỗi tín hiệu trễ 0,02 giây. Nếu dùng phương pháp điều khiển hỗn hợp có chọn trước tín hiệu thì mỗi chu kỳ tiết kiệm được từ 1 ÷ 6 giây. Nếu chu kỳ là một phút thì năng suất tăng được 1,5 ÷ 10%. Hệ thống điều khiển càng phức tạp, chu kỳ gia công càng ngắn, hiệu quả kinh tế của phương pháp này càng cao. Do đó hình thức điều khiển hỗn hợp được sử dụng khá rộng rãi.

Đối với mỗi loại đường dây, ngoài việc chọn bình thức điều khiển hợp lý, cần chọn phương tiện điều khiển thích hợp. Khi chọn phương tiện điều khiển chung phải chú trọng đến các phương tiện điều khiển có sẵn trong các thiết bị công nghệ để phối hợp chúng với nhau.

10.10. HỆ THỐNG BẢO HIỂM

Hệ thống bảo hiểm làm việc khi nào hoạt động của máy không tuân theo những quy định sẵn. Trên đường dây, ngoài những cơ cấu bảo hiểm cho từng máy, thường sử dụng những cơ cấu bảo hiểm để kiểm tra: vị trí của phôi sau khi vận chuyển đến chỗ gia công; vị trí của dụng cụ đối với phôi và tải trọng của chúng; hoạt động của hệ thống bôi trơn, làm nguội và tải phôi.

Kiểm tra vị trí của phôi rất quan trọng, nếu phôi không nằm đúng vị trí, thiết bị sẽ hư hỏng. Thường thường sử dụng công tắc điện để kiểm tra vị trí một điểm hay nhiều điểm của phôi đối với vị trí chuẩn, dùng khí nén để kiểm tra độ tiếp xúc mặt chuẩn của phôi đối với bàn máy, v.v...

Kiểm tra vị trí và trạng thái của dụng cụ rất cần để đảm bảo dụng cụ hoạt động bình thường. Nhiều lúc phải kiểm tra phôi để dụng cụ có thể làm việc được, ví dụ, để kiểm tra độ sâu của lỗ trước khi cắt ren bằng tarô, nhất là gia công hàng loạt

lỗ như vậy; kiểm tra sự có mặt của lỗ tâm ở các chi tiết loại trục, v.v... Khi dụng cụ mòn, lực cắt lớn hay khi phoi quăn vào dụng cụ, tạo ra mômen xoắn rất lớn, ... thì phải có cơ cấu ngừng động cơ, v.v...

Sự hoạt động của hệ thống bôi trơn, làm nguội phải được kiểm tra chặt chẽ bằng cách sử dụng cảm biến áp suất, phao nổi, cánh quay theo dòng chảy, v.v... Đôi khi lại phải kiểm tra nhiệt độ của ổ trục (dùng nhiệt ngẫu).

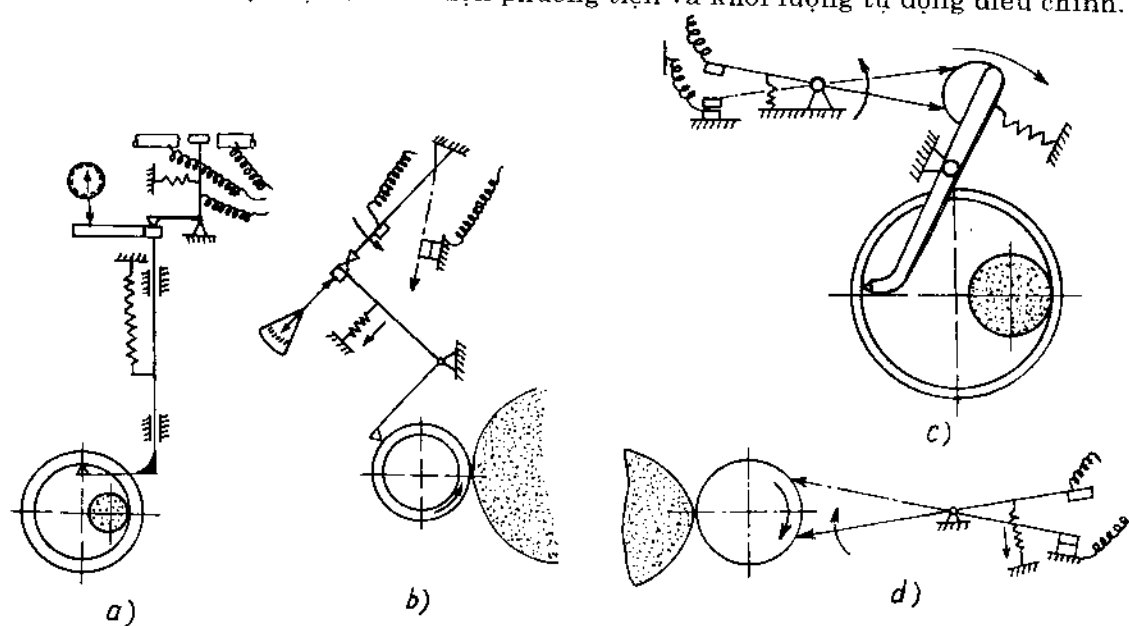
Phải kiểm tra để bảo đảm hệ thống dọn phoi hoạt động đều đặn.

Bảo hiểm là hình thức để phòng thụ động, chỉ sử dụng chỗ nào cần thiết, thực sự giảm được lao động và thời giờ của công nhân. Điểm chính là lúc thiết kế phải suy tính thế nào để giảm tình trạng có thể xảy ra hư hỏng.

Vấn đề an toàn lao động trên đường dây cho công nhân phải được chú trọng trong quá trình thiết kế.

10.11. HỆ THỐNG ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG THIẾT BỊ VÀ DỤNG CỤ

Trong đường dây thường sử dụng các hệ điều chỉnh tự động thiết bị và dụng cụ để đảm bảo chất lượng gia công. Các hệ điều chỉnh tự động này khá phức tạp, chúng bao gồm nhiều loại cảm biến, cơ cấu liên hệ ngược,... cho nên chỉ dùng chúng khi cần thiết. Tùy điều kiện cụ thể mà chọn phương tiện và khối lượng tự động điều chỉnh.



Hình 10.28. Các phương pháp điều chỉnh tự động.

Trong quá trình gia công, dụng cụ cắt gọt mòn, cần phải bù độ mòn ấy. Những dụng cụ như mũi khoan, khoét, dao, tarô, dao chuốt,... không có tự động điều chỉnh

để bù độ mòn. Nhưng các nguyên công khác như tiện (tiện trong, tiện ngoài...), mài (mài trong, mài ngoài, mài nghiền,...) với mức độ nào đó đều phải bù độ mòn dụng cụ. Tự động điều chỉnh để bù độ mòn của dụng cụ tiện và mài là dạng điều chỉnh chủ yếu trên các đường dây tự động của ngành chế tạo cơ khí.

Có nhiều phương pháp điều chỉnh tự động, trên hình 10.28 là một số ví dụ. Khi phôi đạt kích thước yêu cầu, dưới tác dụng của hệ thống đòn bẩy và lò xo các công tắc điện tiếp xúc nhau và quá trình mài dừng lại. Độ mòn của đá mài không ảnh hưởng đến kích thước gia công chi tiết. Để sửa đá, sau một số chu kỳ gia công, đá mài được tự động cắt bớt một lượng nào đó và bàn máy mang đá mài tự động dịch lại gần phôi một khoảng bằng lượng đá mài đã được cắt đi.

Thời gian gần đây đã bắt đầu áp dụng các thiết bị hiện đại để tự động theo dõi và điều chỉnh quá trình cắt gọt cho đến khi hết lượng dư gia công, cũng như khi độ cứng và cấu trúc kim loại không đều của phôi.

10.12. HỆ THỐNG KIỂM TRA CHẤT LƯỢNG SẢN PHẨM

Trong các ĐDTD thường có hệ thống thiết bị để tự động kiểm tra chất lượng gia công sản phẩm (chủ yếu là kiểm tra các thông số hình học).

Có nhiều cách xử lý kết quả kiểm tra:

- Nếu sai số có tính chất ngẫu nhiên thì thiết bị kiểm tra sẽ loại phế phẩm ra khỏi đường dây, chọn sản phẩm tốt để tiếp tục gia công.

- Nếu sai số có tính chất quy luật, thiết bị kiểm tra báo hiệu cho công nhân biết ngay là vị trí nào hay máy nào cho ra sai số, cần phải điều chỉnh lại máy, hoặc là cho tín hiệu để ngừng máy.

- Nếu sai số nằm trong phạm vi cho phép và cần phân loại các mức sai số (lựa chọn) thì có thiết bị phân loại sản phẩm để tiếp tục gia công hay xử lý theo hướng đã định, ví dụ, phân loại lựa chọn bi và vỏ để lắp ráp thành ổ.

Trước khi kiểm tra, sản phẩm phải qua khâu rửa sạch, sấy khô. Nếu độ chính xác cao hơn cấp 2 thì phải kiểm tra sản phẩm ở nhiệt độ không đổi, tức là kiểm tra ở môi trường có điều hòa nhiệt độ.

Kết hợp với kiểm tra, thường thường tiến hành đánh dấu hay đánh nhãn lên sản phẩm.

Phương tiện để kiểm tra thường là điện, điện từ, khí nén. Thường sử dụng cảm biến công tắc điện để kiểm tra chiều dài, điện khí để kiểm tra sai số hình học của sản phẩm, v.v...

10.13. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN PHỤ

Để giảm nhẹ lao động cho cán bộ điều chỉnh và công nhân phục vụ, trên đường dây còn có hệ thống điều khiển phụ, bao gồm hệ thống điều chỉnh thiết bị và hệ thống báo hiệu.

Hệ thống điều chỉnh thiết bị ở đây chỉ là những mạch phụ, cơ cấu phụ để cho đường dây hoạt động theo chế độ đã định, hoặc khi cần có thể cho ngừng ngay một máy, một nhóm máy hay toàn bộ đường dây bất cứ từ vị trí nào của đường dây. Phương tiện để thực hiện hệ thống này là điện: nhiều công tắc điện, nhiều bảng điện đặt ở khắp nơi trên đường dây.

Hệ thống báo hiệu để báo cho công nhân biết sự hoạt động không bình thường hay hư hỏng ở chỗ nào đó trên đường dây. Thường thường sử dụng tín hiệu ánh sáng, camera, v.v... được đặt ở các vị trí điều khiển với màu sắc khác nhau (chẳng hạn, đèn vàng khi bình thường, đèn đỏ khi có sự cố) hoặc cùng một màu nhưng độ sáng khác đi (bình thường sáng mờ, có sự cố-sáng rực lên). thỉnh thoảng có sử dụng tín hiệu âm thanh để báo hiệu những sự cố quan trọng.

Đôi khi còn có hệ thống báo hiệu cưỡng bức để bảo đảm chất lượng gia công, ví dụ, báo hiệu cho công nhân biết tuổi thọ của loại dụng cụ quan trọng nào đó sắp hết (chẳng hạn còn 5% – có thể bằng cách đếm số chu kỳ gia công quy định). Nếu không thay ngay dụng cụ đó, đường dây tiếp tục làm việc, tuổi thọ dụng cụ quá mức (chẳng hạn 105%) thì toàn bộ đường dây sẽ ngừng. Báo hiệu cưỡng bức rất tốt, bảo đảm hiệu quả sử dụng đường dây.

10.14. PHÂN XỬNG VÀ XÍ NGHIỆP TỰ ĐỘNG

Các đường dây lớn, dài, gồm nhiều loại gia công với tính chất khác nhau được hợp thành phân xưởng hay xí nghiệp tự động. Ở các phân xưởng và xí nghiệp này công nhân hay cán bộ kỹ thuật chỉ có nhiệm vụ điều khiển, theo dõi toàn bộ sự hoạt động của máy và can thiệp vào quá trình gia công chỉ khi cần thiết hay có sự cố. Trong trường hợp nào đó có thể còn một hay một số khâu sản xuất do người đảm nhiệm. Sau đây là ví dụ về phân xưởng và xí nghiệp tự động. Phân xưởng tự động sản xuất ổ lăn ở một nhà máy sản xuất vòng bi có hai nhánh: nhánh sản xuất ổ bi cầu 307K1 với 900.000 vòng/năm và nhánh sản xuất ổ lăn đĩa 7815K1 với 600.000 vòng/năm. Mỗi nhánh có ba đường dây: đường dây gia công vòng ngoài, đường dây gia công vành trong và đường dây lắp ráp. Bi và vành ngăn bi được chuyển đến từ phân xưởng khác. Các đường dây bố trí theo nguyên tắc song song - nối tiếp cho các nguyên công tiện và mài (trừ mài mặt phẳng và mài vô tâm), từng nhóm máy nối tiếp nhau. Giữa các đường dây có nhiều ổ trữ phôi trung gian. Các cơ cấu vận

chuyển hoạt động độc lập nhau đối với từng nhóm máy. Các đường dây có thể hoạt động theo ba chế độ: tự động (sản xuất liên tục), nửa tự động (thực hiện xong một chu kỳ rồi dừng lại), điều chỉnh (thực hiện từng bước một trong chu kỳ). Hệ thống điều khiển các đường dây độc lập với nhau. Ở vị trí điều khiển chung toàn phân xưởng có sa bàn đèn báo hiệu; mỗi đèn trên sa bàn ứng với một máy trên phân xưởng, nó báo hiệu máy làm việc hay không, làm việc theo chế độ nào. Khi máy nào ngừng hoạt động thì đèn báo hiệu ở sa bàn và ở máy đó sáng rực lên. Bộ phận nhiệt luyện, vận chuyển phôi, nước làm nguội có bố trí tín hiệu âm thanh.

Gia công các ổ bi đại thể qua các bước như tiện, nhiệt luyện, mài các vành trong và ngoài, sau đó lắp ráp và bao gói.

Vành ngoài của ổ bi cần phải qua các nguyên công: 1- tiện tất cả các bề mặt ngoài (trên máy 2 trục) và trong (trên máy 6 trục); 2- đóng nhãn hiệu ở mặt đầu phía không chuẩn của vành trên máy ép thủy lực; 3- trữ phôi trong ổ trung gian; 4- nung phôi trong lò kiểu đường hầm với môi trường khí trơ; 5- nhiệt luyện trong bể có băng chuyền; 6- rửa phôi trong máy rửa có băng chuyền; 7- sấy khô phôi trong các cơ cấu nâng; 8- làm lạnh phôi trong máy làm lạnh; 9- ram phôi trong lò ram; 10- làm nguội phôi; 11- kiểm tra bề ngoài các phôi; 12- trữ phôi trong ổ trung gian; 13- mài mặt đầu phía không chuẩn; 14- trở đầu và rửa phôi; 15- mài mặt đầu phía chuẩn; 16- trở đầu và rửa phôi; 17- trữ phôi trong ổ; 18- mài sơ bộ mặt trụ ngoài trên máy mài vô tâm; 19- mài tinh mặt trụ ngoài trên máy mài vô tâm; 20- mài nghiền mặt trụ ngoài trên máy mài nghiền vô tâm; 21- trữ phôi trong ổ; 22- mài sơ bộ mặt trong của vành trên máy mài tự động; 23- mài tinh mặt trong; 24- kiểm tra (bằng mắt) các khuyết tật do mài và nhiệt luyện; 25- rửa, sấy và làm nguội phôi; 26- kiểm tra tất cả các kích thước của vành ngoài.

Quy trình gia công vành trong ổ bi cũng tương tự như vậy, chỉ có khác là thêm hai nguyên công mài lỗ trong và không có nguyên công mài nghiền mặt trụ ngoài.

Quy trình lắp ráp và bao gói tự động bao gồm các nguyên công: 1- đánh giá các kích thước lắp ghép của cặp vành trong và vành ngoài trên máy tự động; kết quả so sánh các kích thước này sẽ cho tín hiệu gọi loại bi có kích thước thích hợp để lắp ráp (bi phân thành 50 loại, kích thước đường kính khác nhau 0,001 mm); 2- lắp ráp trên máy tự động; 3- kiểm tra ổ bi về tiếng ồn và mức độ quay nhẹ nhàng (bằng tay); 4- kiểm tra các kích thước lắp ráp của ổ bi (đường kính bên trong, bên ngoài; độ đảo mặt đầu và độ đảo hướng kính của vòng trong, vòng ngoài...) trên máy tự động; 5- bôi mỡ chống gỉ (tự động); 6- bao gói, đóng hộp, dán nhãn và sắp vào hòm (tự động).

Đối với ổ lăn dũa, quy trình gia công cũng tương tự.

Xí nghiệp tự động sản xuất pittông ô tô tải ZIL-150 và GAZ-51 với sản lượng mỗi loại 1,2 triệu chiếc/năm. Đây là các sản phẩm phức tạp, cho nên thiết bị gia công của xí nghiệp hầu hết là thiết bị chuyên dùng để đảm bảo vận chuyển, định vị, kẹp chặt, gia công và kiểm tra chất lượng sản phẩm. Quy trình công nghệ gia công trong xí nghiệp bắt đầu từ khâu nấu chảy kim loại, đúc thành phôi cho đến việc bao gói thành phẩm đều do máy tự động đảm nhiệm.

Bộ phận đúc và nhiệt luyện bao gồm các quá trình sau:

1. Nung chảy hợp kim nhôm Al-25 trong lò điện, tinh luyện hợp kim theo chu kỳ cho từng suất kim loại lỏng vào khuôn kim loại của máy đúc tự động; 2- đúc phôi pittông; 3- cắt kim loại thừa của phôi đúc; 4- nhiệt luyện phôi; 5- kiểm tra độ cứng của phôi đúc.

Các thỏi nhôm được xếp vào băng chuyền và đưa vào lò nấu. Lò có bốn buồng: buồng nấu chảy, buồng hứng kim loại lỏng, buồng luyện hợp kim và buồng cho ra hợp kim. Có thiết bị tự động điều chỉnh nhiệt độ của mỗi buồng theo yêu cầu. Kim loại lỏng ra lò ở nhiệt độ $710^{\circ} \div 730^{\circ}$, qua thiết bị định suất đến máy đúc tự động và cứ 12 ÷ 15 giây được một phôi. Phôi nặng gần 180 kG và cho phép sai số về trọng lượng khoảng 1 ÷ 2%. Trong trạng thái nóng, phôi đến tới máy tự động để cắt kim loại đúc thừa (đầu ngót và đầu rót), sau đó phôi theo băng chuyền vào lò nhiệt luyện kiểu đường hầm, lò có thể chứa cùng một lúc 1500 phôi. Sau 6 giờ ở nhiệt độ khoảng 210° , phôi qua khỏi hầm lò, được làm nguội bằng gió và tiến vào máy kiểm tra độ cứng. Nếu HB = 100 ÷ 130 thì phôi được đưa vào ổ trữ phôi để chờ gia công cơ khí.

Bộ phận gia công cơ khí có 4 đoạn đường dây, giữa những đoạn này có các ổ trữ phôi trung gian, bao gồm các nguyên công sau: 1- gia công mặt chuẩn; 2- gia công lỗ tâm công nghệ ở đáy pittông và khoét lỗ chốt pittông; 3- tiện thô và tiện tinh mặt ngoài pittông; 4- tiện các rãnh secmăng; 5- phay rãnh ngang; 6- khoan các lỗ bôi trơn ở những rãnh secmăng; 7- mài thô mặt ngoài pittông; 8- phay rãnh dọc và cắt bỏ cái bướu tâm công nghệ ở đáy pittông; 9- điều chỉnh trọng lượng của pittông; cân pittông và tiện bớt kim loại thừa của nó với dung sai về trọng lượng không quá 8 gam; 10- mài định hình thô và tinh mặt ngoài của pittông; 11- nhúng pittông vào dung dịch stanat-natri $\text{Na}_2\text{SnO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, bảo đảm lớp phủ lên pittông khoảng 0,004 ÷ 0,006 mm; 12- tiện rãnh ở lỗ chốt pittông và gia công tinh lỗ này.

Bộ phận hoàn thành gia công bao gồm các nguyên công sau: 1- rửa sạch pittông trong máy rửa; 2- kiểm tra kích thước gia công, phân loại và đóng nhãn hiệu phân loại lên pittông. Phân loại theo đường kính lỗ chốt pittông (cách nhau 0,002 mm), theo đường kính ngoài phần dưới của pittông (cách nhau 0,02 mm); 3- bôi mỡ; 4- bao gói (bao giấy cho từng pittông, xếp 6 pittông vào hộp cắctông, dán kín hộp và dán

nhãn hiệu xí nghiệp, chuẩn bị xuất xưởng).

Vì tính chất và thời gian thực hiện các nguyên công khác nhau nên dọc theo đường dây có nhiều chỗ phân nhánh và ghép nhánh.

Gia công cùng một lúc ở bộ phận: đúc - 1 phôi; ram - 8 phôi; kiểm tra độ cứng - 2 phôi; gia công mặt chuẩn - 2 phôi; gia công tiện - 4 phôi; điều chỉnh trọng lượng - 2 phôi; mài định hình và phủ bề mặt - 4 phôi; rửa, kiểm tra, bôi mỡ - 1 phôi; bao giấy - 3 phôi; ra thành phẩm - 6 phôi.

Do đó, trong xí nghiệp dùng nhiều loại cơ cấu vận chuyển khác nhau: xích, băng tải, máng trượt, cần đẩy, tay máy... Đồ gá vệ tinh chỉ sử dụng ở đoạn đường dây đầu thuộc bộ phận gia công cơ khí.

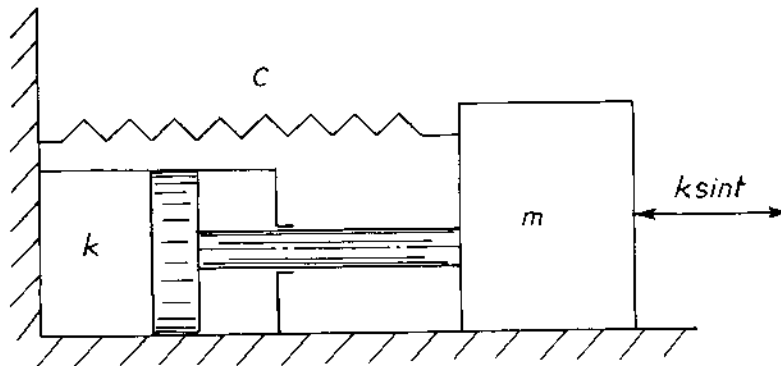
PHẦN IV. BÀI TẬP ỨNG DỤNG

Chương 11

BÀI TẬP VỀ ĐIỀU CHỈNH

11.1. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN VÀ HÀM TRONG

Bài 1. Cho một hệ thống dao động cưỡng bức hình 11.1 với khối lượng m , hằng số lò xo e , hệ số giảm chấn k tỷ lệ thuận với tốc độ chuyển động của khối lượng m , qui luật kích thích là $ksint$. Hãy viết phương trình vi phân của một hệ tự do từ đó tìm ra các trường hợp giảm chấn mạnh, giảm chấn yếu và phân giới, đồng thời tìm nghiệm riêng của phương trình không thuần nhất.



Hình 11.1.

Bài giải

Dựa vào phương trình cân bằng lực và nếu ký hiệu $x(t)$ là độ dịch chuyển của khối lượng, thì có thể viết phương trình của hệ dao động tự do là:

$$m\ddot{x} + k\dot{x} + \frac{1}{e}x = 0$$

và của hệ cưỡng bức là:

$$m\ddot{x} + k\dot{x} + \frac{1}{e}x = ksint$$

Vậy nghiệm tổng quát của phương trình thuần nhất có dạng:

$$x_{k,t}(t) = C_1 e^{P_1 t} + C_2 e^{P_2 t}$$

Trong đó: P_1 và P_2 là nghiệm của phương trình đặc trưng: $P^2 + \frac{k}{m}P + \frac{1}{mc} = 0$

$$\text{Nghĩa là: } P_{1,2} = -\frac{k}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{k}{2m}\right)^2 - \frac{1}{mc}}$$

Nội dung của lời giải phụ thuộc vào độ lớn của đại lượng dưới căn. Nếu nó dương là trường hợp giảm chấn mạnh.

$$\text{Nếu ký hiệu: } \mu = \sqrt{\left(\frac{k}{2m}\right)^2 - \frac{1}{mc}}$$

$$\text{thì } x_{k,t}(t) = e^{-\frac{k}{2m}t} (C_1 e^{\mu t} + C_2 e^{-\mu t})$$

$$x_{k,t}(t) = e^{-\frac{k}{2m}t} \{C_1 (\text{ch}\mu t + \text{sh}\mu t) + C_2 [\text{ch}(-\mu t) + \text{sh}(-\mu t)]\} = e^{-\frac{k}{2m}t} (\text{ch}\mu t + \text{sh}\mu t)$$

Nếu ký hiệu: $A_1 = C_1 + C_2$ và $A_2 = C_1 - C_2$ và sử dụng tính đồng nhất:

$$e^* = \text{cha} + \text{sha},$$

Ta có phương trình giảm chấn mạnh là:

$$x_{k,t}(t) = e^{-\frac{k}{2m}t} (A_1 \text{ch}\mu t + A_2 \text{sh}\mu t)$$

$$\text{Điều kiện giảm chấn yếu là: } \left(\frac{k}{2m}\right)^2 - \frac{1}{mc} = v < 0$$

$$\text{Nếu đặt: } \Psi_0 = \arcsin A_1 = \arccos A_2.$$

$$\text{và } A_1 = C_1 + C_2 \quad A_2 = j(C_1 - C_2) \text{ với } j = \sqrt{-1}$$

thì phương trình giảm chấn yếu sẽ là:

$$x_{k,t}(t) = e^{-\frac{k}{2m}t} A \sin(vt + \Psi_0)$$

$$\text{Điều kiện phân giới là: } \left(\frac{k}{2m}\right)^2 - \frac{1}{mc} = 0$$

$$\text{Nếu đặt: } A_1 = C_1 + C_2 \text{ và } A_2 = C_1 - C_2$$

$$\text{thì phương trình phân giới là: } x_{k,t}(t) = (A_1 + A_2) e^{-\frac{k}{2m}t}$$

Nghiệm riêng của phương trình không thuần nhất là:

$$x_{k,j}(t) = \lambda_1 \sin t + \lambda_2 \cos t$$

Bằng cách so sánh hệ số, thu được:

$$x_{k,r}(t) = \frac{k.b}{b^2 - k^2} \sin t - \frac{k.b}{b^2 - k^2} \cos t$$

$$\text{Nếu đặt: } b = \frac{1}{c} - m \text{ và } B = \frac{k.b}{b^2 - k^2} \sqrt{2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 1 \text{ nên } \varphi = 45^\circ \pm n.720^\circ \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

sẽ có phương trình không thuần nhất ở dạng rút gọn là:

$$x_{k,r}(t) = B \sin(t - \varphi).$$

Bài 2. Tìm hàm trọng và vẽ đồ thị của một hàm quá độ đã cho, từ đó xác định phân tử ra nếu đặc tính vào là: $x_b(t) = U_B e^{-\beta t}$.

Bài giải

Giả sử ta có hàm quá độ

có dạng:

$$V(t) = 1 - \left(1 - \frac{\tau_1}{T_1}\right) e^{-\frac{t}{T_1}}$$

Theo công thức về hàm trọng ta có:

$$y(t) = \frac{d}{dt} v(t) = \frac{1}{T_1} \left(1 - \frac{\tau_1}{T_1}\right) e^{-\frac{t}{T_1}}$$

$$\delta(t) = C e^{-\frac{t}{T_1}} + \delta(t) = y(t)$$

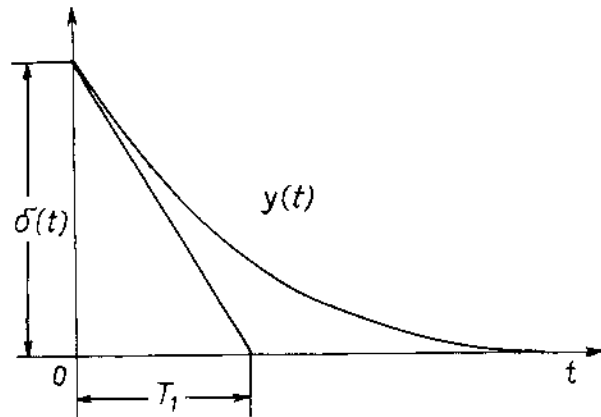
$$\text{Trong đó: } C = \frac{1}{T_1} \left(1 - \frac{\tau_1}{T_1}\right)$$

Hàm trọng được biểu diễn ở hình 11.2.

Từ kết quả thu được của hàm trọng là: $y(t).C e^{-\frac{t}{T_1}} + \delta(t)$.

Thực hiện phép nhân chập và bỏ qua hàm Delta-Dirac ta có:

$$\begin{aligned} x_k(t) &= \int_0^t C e^{-\frac{t-\tau}{T_1}} U_B e^{-\beta \tau} d\tau = C U_B e^{-\frac{t}{T_1}} \int_0^t e^{\left(\frac{1}{T_1} - \beta\right)\tau} d\tau = \\ &= \frac{C U_B T_1 e^{-\frac{t}{T_1}}}{1 - \beta T_1} \left(e^{\left(\frac{1}{T_1} - \beta\right)t} - 1 \right) = U_k (e^{-\beta t} - e^{-\frac{t}{T_1}}) = x_k(t). \end{aligned}$$



Hình 11.2.

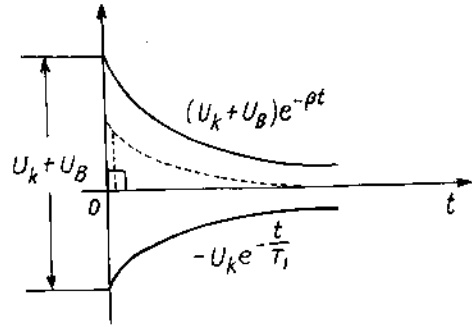
Trong đó: $U_k = \frac{CU_B T_1}{1 - \beta T_1}$.

Theo định nghĩa của hàm trọng thì nó chính là $x_b(t)$ nên xét đầy đủ cả hàm Delta Dirac ta có đặc tính ra là:

$$x_k(t) = U_k (e^{-\beta t} - e^{-\frac{t}{T_1}}) + U_B e^{-\beta t}$$

$$x_k(t) = U_k + U_B e^{-\beta t} - U_k e^{-\frac{t}{T_1}}$$

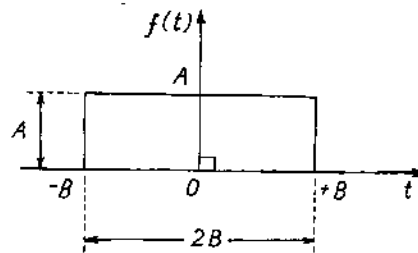
và được biểu diễn như đồ thị hình 11.3.



Hình 11.3.

11.2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH PHỔ PHỨC

Bài 3. Xác định phổ phức và phổ phức hàm Delta Dirac của một hàm xung chữ nhật đối xứng qua trục tung có biên độ là A và bề rộng là 2B như hình 11.4.



Hình 11.4.

Bài giải:

Ta có:

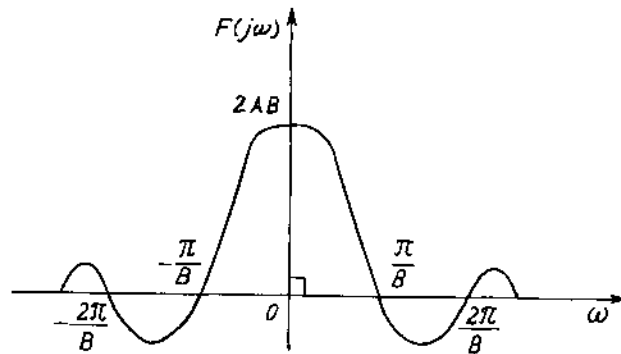
$$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} -\frac{A}{j\omega} e^{-j\omega t} dt = \int_{-B}^B A e^{-j\omega t} dt = \left[-\frac{A}{j\omega} e^{-j\omega t} \right]_{-B}^B = \frac{2A}{\omega} \cdot \frac{e^{j\omega B} - e^{-j\omega B}}{2j}$$

Vậy hàm phổ phức của hàm xung chữ nhật đối xứng đã cho là (hình 11.5):

$$F(j\omega) = 2AB \cdot \frac{\sin \omega B}{\omega B}$$

Phổ phức hàm Delta Dirac được tính như sau:

Do đặc tính là xung chữ nhật đơn vị nên diện tích của nó không đổi: $T \rightarrow 0$ và $2AB \rightarrow 1$.



Hình 11.5.

$$\text{Do đó } \Phi(\delta t) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) e^{-j\omega t} dt = \lim_{T \rightarrow 0} \frac{\sin \omega B}{\omega B} = 1$$

Điều đó có nghĩa là biến đổi Fourier của hàm Delta Dirac là đơn vị.

11.3. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH HÀM TRUYỀN CỦA CÁC PHẦN TỬ TRONG MẠCH ĐIỀU CHỈNH

Khi xác định hàm truyền bao giờ cũng phải xuất phát từ cơ chế hoạt động của cơ cấu hay hệ thống. Trước hết phải biết đặc tính vào của phần tử và coi đại lượng vật lý nào là đặc tính ra đồng thời những đặc tính nhiều là gì? Khi xét cần bỏ qua một cách hợp lý những ảnh hưởng thứ yếu để có thể thiết lập một quan hệ hàm giữa một số đại lượng và từ đó dẫn đến một phương trình hay hệ phương trình và thường là phương trình vi phân. Ví dụ, đối với các hệ cơ học người ta có thể dựa vào định luật Newton hoặc phương trình năng lượng loại hai của Lagrange viết cho các hệ tọa độ tổng quát. Từ dạng của phương trình dùng toán tử Heaviside hay biến đổi Laplace để xác định hàm truyền của phần tử.

Bài 4. Hãy xác định hàm truyền đạt và vẽ sơ đồ cấu trúc điều chỉnh của hệ điều chỉnh thủy lực.

Nguyên lý làm việc của hệ thống cho ở hình 11.6. Đây là một sơ đồ sử dụng phổ biến trong hệ thống thủy lực máy công cụ, máy nâng hạ và các thiết bị điều khiển theo các chu trình khác nhau. Khi thước chép hình 3 di chuyển đến chỗ cao thì

pittông của van trượt 1 sẽ nâng lên " x_b ". Dầu có áp suất P_o sẽ vào buồng A qua cửa 4 vào buồng B đẩy pittông truyền lực 2 mang khối lượng M xuống phía dưới " x_k ". Khi thước chép hình 3 xuống mặt thấp nhất sẽ làm cho pittông 1 đi xuống, cửa 4 đóng lại, cửa 5 mở ra, dầu sẽ vào buồng C đưa pittông 2 đi lên, hình 11.6.

Bài giải

Vậy lượng dịch chuyển của pittông 1 với đại lượng x_b là đặc tính vào còn dịch chuyển của pittông 2 là đặc tính ra với đại lượng x_k , ta lập được phương trình:

$$T_1 \frac{d}{dt} x_k = x_b$$

Khi lưu lượng vào xilanh ta có phương trình:

$$q = A_1 \frac{dx_k}{dt} \quad (A_1 - \text{tiết diện pittông 2}). \quad (a)$$

Nếu bỏ qua rò rỉ thì phương trình liên tục của lưu lượng qua pittông 1 là:

$$q = C_1 \cdot x_b \quad (C_1 - \text{là hằng số tỷ lệ}). \quad (b)$$

Thay kết quả (a) vào (b) ta có:

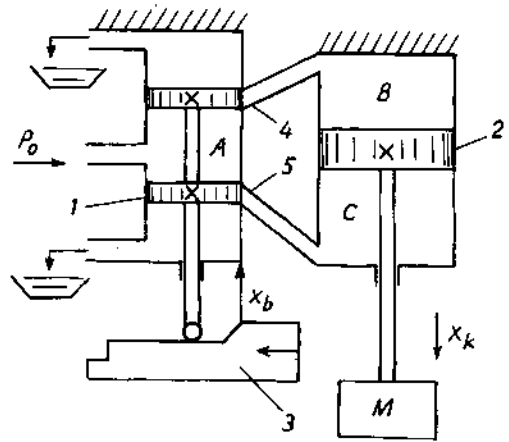
$$A_1 = \frac{dx_k}{dt} = C_1 x_b \quad (c)$$

$$\text{hay} \quad \frac{A_1}{C_1} \cdot \frac{dx_k}{dt} = T_1 \cdot \frac{dx_k}{dt} = x_b \quad (d)$$

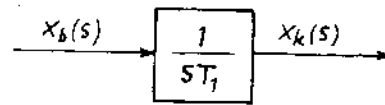
$$\text{Trong đó: } T_1 = \frac{A_1}{C_1}$$

Nếu viết phương trình (d) dưới dạng toán tử Heaviside ta có:

$$x_k = \frac{1}{T_1 \cdot p} x_b$$



Hình 11.6

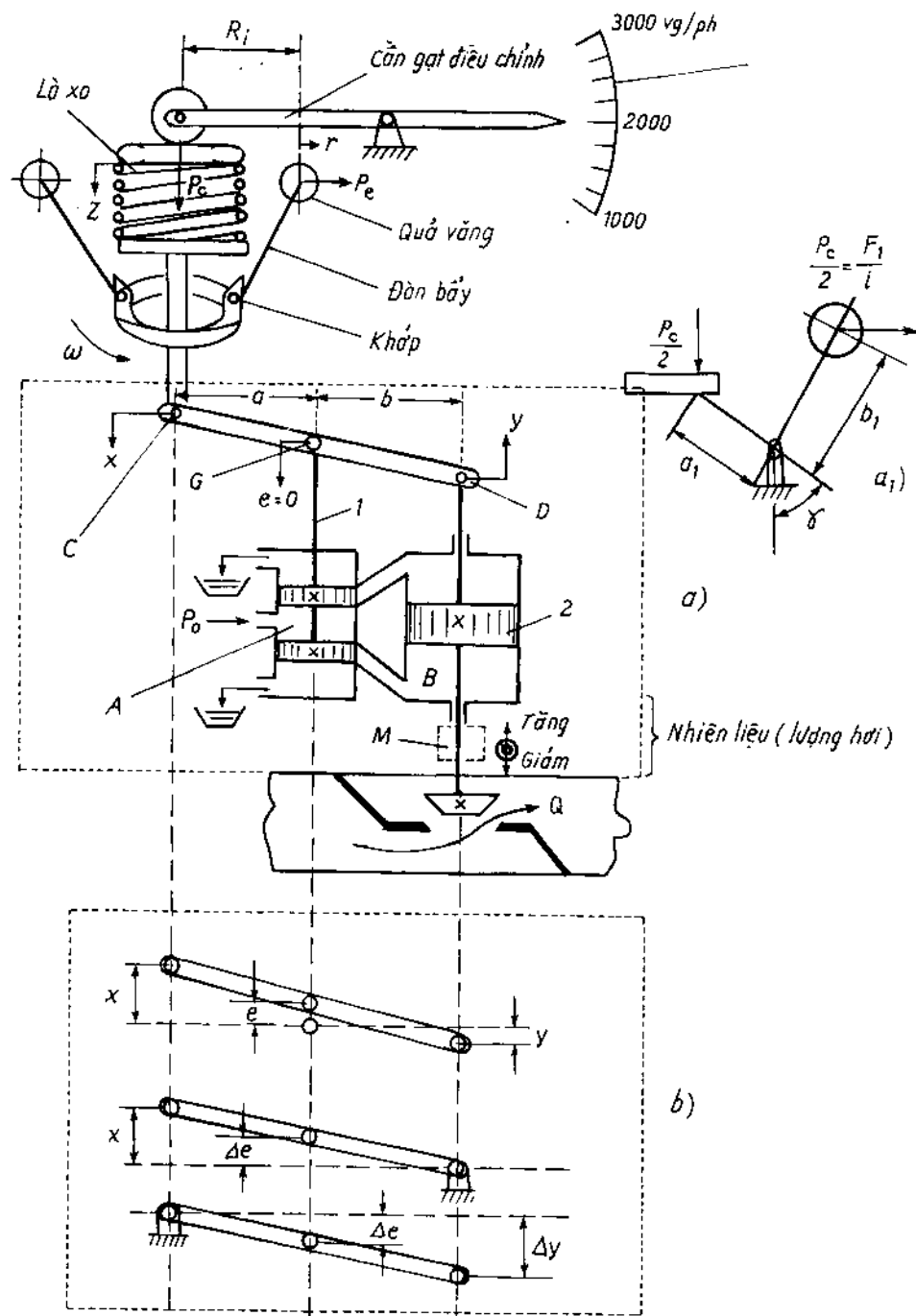


Hình 11.7

$$\text{và hàm truyền của hệ thống là: } Y(s) = \frac{x_k(s)}{x_b(s)} = \frac{1}{S T_1}$$

Cơ cấu thủy lực này còn gọi là bộ tích phân thủy lực có sơ đồ như trên hình 11.7.

Bài 5. Hãy xác định hàm truyền đạt của hệ thống động cơ servo thủy lực; hoạt động điều chỉnh số vòng quay của tuabin hơi, khí hoặc động cơ diesel (còn gọi là bộ điều tốc thủy cơ, hình 11.8).



Hình 11.8.

Bài giải:

Nguyên lý làm việc: từ cần gạt điều chỉnh có thể điều chỉnh số vòng quay của động cơ với những giá trị cho trước. Trên hình 11.8 là hệ thống được điều chỉnh ở vị trí cơ sở, trọng tâm của quả nặng đặt cách trục quay một khoảng $R = R_i + r$.

Hình 11.8. Hệ thống các quả nặng được nối với trục động cơ bằng các bánh răng, do đó vận tốc góc ω của nó tỷ lệ thuận với số vòng quay của động cơ. Lực ly tâm của quả nặng qua hệ thống đòn bẩy và truyền đến phía dưới của lò xo.

Nếu số vòng quay của động cơ giảm xuống thấp hơn giá trị đã được điều chỉnh, thì lực ly tâm P_c giảm, dẫn đến lực tác dụng phía dưới lò xo cũng giảm. Với kết quả đó, lò xo đẩy hệ thống di động xuống một lượng là x , làm cho van trượt chuyển động đi xuống một đoạn là e , dầu sẽ từ buồng A vào B nâng lên, đưa lượng nhiên liệu vào động cơ nhiều hơn, làm cho động cơ lại quay nhanh lên cho đến khi hệ thống đạt đến trạng thái cân bằng.

Giả sử, điều chỉnh cần gạt với số vòng quay lớn hơn thì đầu trên của lò xo sẽ đi xuống dưới một đoạn là Z , cả x và e cùng di động xuống, làm tăng số vòng quay của động cơ. Như thế, vị trí đầu trên của lò xo được gọi là hàm của số vòng quay đã được điều chỉnh. Cứ mỗi lần động cơ tăng hay giảm số vòng quay thì sự cân bằng trước đó bị phá vỡ. Trong trường hợp do lực quán tính và lực cản của pittông lớn, trong giây lát ban đầu cần gạt dường như một vật cố định. Nhưng đầu C vẫn di động đi lên nên chốt G cũng đi lên một đoạn là e (tại thời điểm này xem như điểm D cố định) quá trình lại tiếp diễn như trên.

1) Trường hợp là động cơ secvơ thủy lực ta có

Nếu gọi x là đặc tính vào: $x = x_b$ và y là đặc tính ra $y = x_k$ thì trong trạng thái cân bằng $e = 0$.

Theo quy luật đòn bẩy điểm tựa ở giữa có thể viết: $y = \frac{b}{a}x$ (theo hình 11.8a,b).

Độ dịch chuyển e của điểm cân bằng G tùy thuộc vào độ lớn của x và y , có nghĩa là:

$$e = f(x, y)$$

Nếu dùng phép tuyến tính hóa quanh điểm cân bằng có thể viết:

$$e = \left. \frac{\partial e}{\partial x} \right|_1 x + \left. \frac{\partial e}{\partial y} \right|_1 y$$

$$\text{Trong đó } \left. \frac{\partial e}{\partial x} \right|_1 = \lim_{\Delta e \rightarrow 0} \frac{\Delta e}{\Delta x} = \frac{b}{a+b}$$

$$\text{Xác định từ tỷ lệ biến thiên giữa } e \text{ và } x \text{ ta có } \left. \frac{\partial e}{\partial y} \right|_1 = \lim_{\substack{\Delta e \rightarrow 0 \\ \Delta y \rightarrow 0}} \frac{\Delta e}{\Delta y} = -\frac{a}{a+b}$$

Dấu âm ở đây thể hiện như sau:

+ Nếu y tăng thì e giảm và ngược lại. Như vậy hàm: $e = f(x, y)$ sau khi tuyến tính hóa có dạng: $e(x, y) = \frac{b}{a+b}x - \frac{a}{a+b}y$

Nếu $a = b$ thì sơ đồ ảnh hưởng như hình 11.8a và e được tính như sau:

$$e(x, y) = \frac{x - y}{2}$$

Đối với con trượt phân phối và xilanh lực (không có tay đòn theo phương trình (d) ở ví dụ trên) ta có thể viết:

$$y = \frac{C_1}{A_1 p} e \quad (11.2)$$

và sơ đồ ảnh hưởng như hình 11.8b.

Từ (11.1) và (11.2) ta có:

$$(x - y) \frac{C_1}{2A_1 p} e = y$$

$$x = \left(1 + \frac{2A_1}{C_1} p \right) y$$

$$\text{hay: } x_k = y = \frac{1}{1 + \frac{2A_1}{C_1} p} x = \frac{1}{1 + \frac{2A_1}{C_1} p} x_b \quad (11.3)$$

Vậy mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra của bộ điều tốc là: L

$$x_k = \frac{1}{1 + \frac{2A_1}{C_1} p} x_b$$

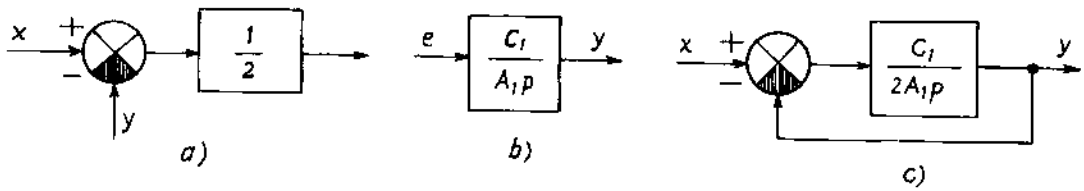
Từ đây ta có thể viết được hàm truyền đạt của bộ điều tốc

$$W(s) = \frac{\mathcal{L}(y)}{\mathcal{L}(x)} = \frac{1}{1 + \frac{2A_1}{C_1} s} = \frac{\frac{C_1}{1A_1}}{1 + \frac{C_1}{2A_1} s}$$

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1}{1 + \frac{2A_1}{C_1} s}$$

Sơ đồ khối của hệ điều chỉnh này được thể hiện như hình 11.9, từ phương trình (11.3) ta thể hiện từng phần như hình 11.9 a và 11.9b:

và sơ đồ tổng hợp của hệ thống là hình 11.9c.



Hình 11.9

2) Bộ điều tốc thủy cơ

Vị trí điểm Z, hình 11.8a, chỉ phụ thuộc vào số vòng quay định mức do ta quyết định.

Vậy chuyển dịch Z khỏi vị trí cơ sở là: $Z = C_2 \cdot n_2$

Trong đó $n_2 = N_e - N_i$ là sự biến thiên của số vòng quay định mức mỗi nào đó so với giá trị định mức ban đầu nên: $C_2 = \left. \frac{\partial Z}{\partial N_c} \right|_i$

và độ dốc của đường đặc tính là $Z = f(N_c)$ tại điểm cơ sở ban đầu.

Lực ly tâm F_1 tác dụng lên các quả nặng là:

$$F_1 = MR\omega^2$$

trong đó: M - khối lượng của các quả nặng.

R - khoảng cách giữa trọng tâm quả nặng và trục quay

ω - vận tốc góc của con lắc li tâm (hay của quả nặng).

Vì có dẫn động từ bánh răng đến con lắc li tâm nên có thể viết:

$$\omega = C_t \frac{2\pi}{60} N_m$$

Trong đó C_t là tỷ số truyền N/N_m ; còn N_m - số vòng quay của máy, thay giá trị ω vào F_1 ta có:

$$F_1 = MR \left(C_t \frac{2\pi}{60} N_m \right)^2 = C_t MR N_m^2 \quad (11.4)$$

Nếu ký hiệu: $C_p = \frac{(2\pi C_t)^2}{60}$ - hệ số biến đổi lực.

còn $\frac{2\pi}{60}$ - hệ số biến đổi vòng quay trong một phút N_m thành radian/s.

Từ sơ đồ lực của hình 11.8a₁ ta có:

$$\frac{F_1}{i} b_1 \sin \gamma = \frac{F_1}{i} a_1 \sin \gamma$$

Trong đó: F_1 - lực tì của lò xo; i - số quả văng.

$$\text{Ta có thể viết: } F_1 = \frac{b_1}{a_1} F_1 = C_d F_1 \quad (11.5)$$

trong đó: $C_d = \frac{b_1}{a_1}$ - tỷ số cánh tay đòn.

So với lực ly tâm của quả văng thì trọng lượng của nó có thể bỏ qua, vì vậy từ các biểu thức (11.4) và (11.5) ta có thể rút ra: $F_1 = C_1 C_d M R N_m^2$

Vậy lực F_1 phụ thuộc vào 2 biến độc lập R và N_m nên với phép tuyến tính hóa quen thuộc ta có:

$$F_1 = C_3 r + C_4 n_m \quad (11.6)$$

trong đó: $C_3 = \left. \frac{\partial F_1}{\partial R} \right|_i = C_1 C_d M N_i^2$; với lưu ý rằng: $N_m|_i = N_i$

Độ co lại của lò xo là: $Z - x$ dẫn tới biến thiên của lực lò xo là:

$$F_{1x} = K_1 (Z - x) \quad (11.7)$$

trong đó K_1 - hằng số lò xo.

$$C_4 = \left. \frac{\partial F_1}{\partial N_m} \right|_i = 2 C_1 C_d M R_i N_i$$

Từ (11.6) và (11.7) ta có:

$$K_1 Z - K_1 x = C_3 r - C_4 n_m \quad (11.8)$$

Theo sơ đồ hình 11.8 thì x và r biến thiên ngược chiều nhau, chúng quan hệ với nhau qua đòn bẩy a_1, b_1 do đó:

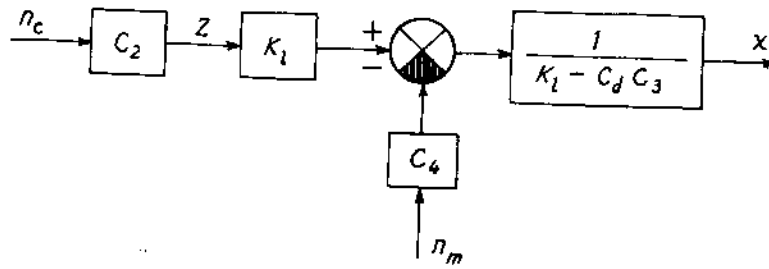
$$r = -C_d x \quad (11.9)$$

Thay (11.9) vào (11.8) ta có:

$$x = \frac{K_1 Z - C_4 n_m}{K_1 - C_d C_3} \quad (11.10)$$

Sơ đồ khối ảnh hưởng theo các phương trình (11.8) và (11.10) được thể hiện ở sơ đồ hình 11.10.

Lưu lượng nhiên liệu Q (khí, nước hoặc hơi) chảy qua van là hàm của vị trí nên: $Q = Q(Y)$.



Hình 11.10.

vì vậy: $q = \left. \frac{\partial Q}{\partial Y} \right|_i y = C_5 y$ (11.11)

Trong đó $C_5 = \left. \frac{\partial Q}{\partial Y} \right|_i$ là độ dốc của đường đặc tính $Q(Y)$ tại giá trị cơ sở ban đầu (trạng thái xác lập ban đầu).

Số vòng quay N_m của máy phụ thuộc vào lưu lượng Q và phụ tải của máy.

Nghĩa là:

$$N_m = N_m(Q, T) \quad (11.12)$$

vì thế $n_m = C_6 q - C_7 t$

Trong đó $C_6 = \left. \frac{\partial N_m}{\partial Y} \right|_i$ và $C_7 = \left. \frac{\partial N_m}{\partial T} \right|_i$

Dấu âm ở C_7 tồn tại vì khi $Q = \text{const}$ nếu tải tăng thì số vòng quay giảm.

Biến thiên của mômen máy là:

$$m = (T_t - T_u) + \theta \alpha = t_t + \frac{2\pi}{60} \theta p n_m \quad (11.13)$$

Biến thiên của mômen này là tổng của biến thiên mômen phụ tải và biến thiên mômen quán tính $(2\pi/60)\theta p n_m$ làm thay đổi số vòng quay của máy.

Dựa vào 2 phương trình (11.12) và (11.13) ta có:

$$n_m = C_6 q - C_7 t - C_7 \frac{2\pi}{60} \theta p n_m$$

hay
$$n_m = \frac{C_6 q - C_7 t}{1 + C_7 \frac{2\pi}{60} \theta p} = \frac{C_6 q - C_7 t}{1 + \tau p} = \frac{C_6}{1 + \tau_2 p} (q - C_8 t_t) \quad (11.14)$$

Trong đó: $\tau_2 = C_7 \frac{2\pi}{60}$

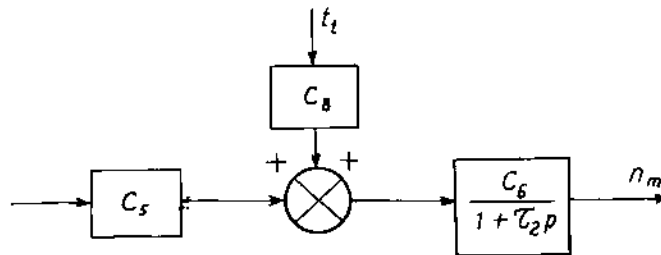
$$C_8 = \frac{C_7}{C_6} = \frac{-\partial N_m / \partial T|_i}{N_m / \partial Q|_i} = \frac{\partial Q}{\partial T}|_i$$

Dấu âm ở đây mất đi vì đối với các hàm ẩn, tích của các đạo hàm riêng là -1. Vì thế đối với các hàm $N_m = N_m(Q, T)$ viết dưới dạng hàm ẩn $G(Q, T, N_m) = 0$ ta có:

$$\frac{\partial Q}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial N_m} \cdot \frac{\partial N_m}{\partial Q} = -1$$

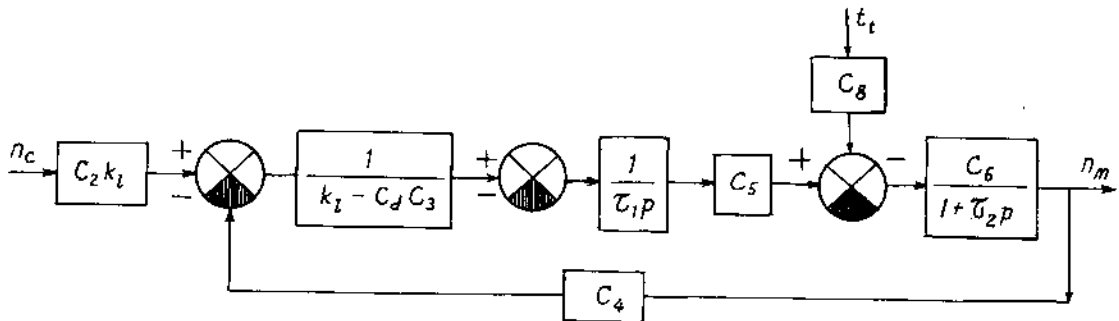
hay
$$\frac{\partial N_m}{\partial T} : \frac{\partial N_m}{\partial Q} = -\frac{\partial Q}{\partial T}$$

Sơ đồ khối của 2 phương trình (11.11) và (11.14) được mô tả như hình 11.11.



Hình 11.11.

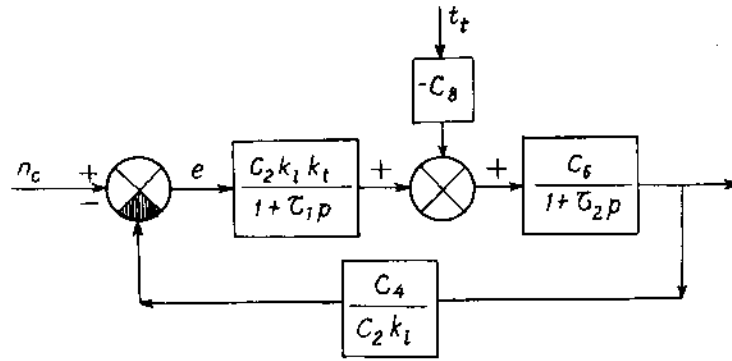
Nhờ các sơ đồ ảnh hưởng tìm được ta lập toàn bộ sơ đồ cho bộ điều tốc như ở sơ đồ hình 11.12.



Hình 11.12.

Từ đây việc xác định hàm truyền đạt chẳng có gì khó khăn nữa. Thực vậy, nếu thay $k_1 = C_5(k_1 - C_4C_3)$ và khử mạch hồi tiếp nội ta thu được một sơ đồ ảnh hưởng tương đương nhưng gọn hơn như trên hình 11.13.

Cần biết rằng khi viết hàm truyền:



Hình 11.13.

$W(s) = \frac{\mathcal{L}\{N_m\}}{\mathcal{L}\{N_c\}} = \frac{N_m(s)}{N_c(s)}$ ta coi như tải là không đổi, vì thế $t_t = 0$ và theo sơ đồ

khối trên hình 11.13, ta có thể viết:

$$W(s) = \frac{\frac{C_2 k_l C_t C_6}{(1 + S\tau_1)(1 + S\tau_2)}}{1 + \frac{C_4}{C_2 k_l} \cdot \frac{C_2 k_l k_t C_6}{(1 + S\tau_1)(1 + S\tau_2)}} = \frac{\frac{C_2 k_l k_t C_6}{(1 + S\tau_1)(1 + S\tau_2)}}{1 + \frac{C_4 k_t C_6}{(1 + S\tau_1)(1 + S\tau_2)}}$$

Thực hiện các phép tính và giản ước ta có hàm truyền đạt của bộ điều tốc là:

$$W(s) = \frac{A_p}{1 + ST_1 + S^2 T_2^2}$$

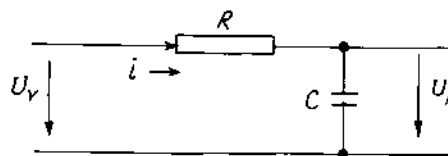
Trong đó: $A_p = \frac{C_2 C_6 k_l k_t}{C_4 C_6 k_l + 1}$

$$T_1 = \frac{\tau_1 + \tau_2}{C_4 C_6 k_l + 1}$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{\tau_1 + \tau_2}{C_4 C_6 k_l + 1}}$$

Vậy bộ điều tốc là hệ tỷ lệ trễ cấp 2.

Bài 6. Hãy xác định hàm truyền cho mạch điện gồm đặc tính vào là điện áp vào U_v ; đặc tính ra là U_R điện trở R và tụ C , xem hình 11.14.



Hình 11.14.

Bài giải:

Phương trình của mạch (theo Kirchoff):

$$\left. \begin{aligned} U_V &= R_i + \frac{1}{C} \int_0^t i dt \\ U_R &= \frac{1}{C} \int_0^t i dt \end{aligned} \right\} \quad (11.15)$$

Trong đó: R - điện trở; i - cường độ dòng điện; C - điện dung riêng.

Biến đổi Laplace các phương trình (11.15) ta có:

$$U_V(s) = \left(R + \frac{1}{sC} \right) I(s)$$

$$U_R(s) = \frac{1}{sC} I(s)$$

Ta được hàm truyền:

$$Y(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1}{1 + sRC}$$

Nếu ký hiệu $T = RC$ - hằng số thời gian, ta có hàm truyền đạt của hệ thống điện trên là: $Y(s) = \frac{1}{1 + sT}$

Bài 7. Xác định hàm truyền cho mạch điện như hình vẽ 11.15.

Bài giải

Phương trình vi phân có dạng:

$$U_V = R_1 + \frac{1}{C} \int_0^t i dt$$

$$U_r = R \cdot i$$

Với các bước tương tự như trên ta có:

$$Y(s) = \frac{ST}{1 + ST}$$

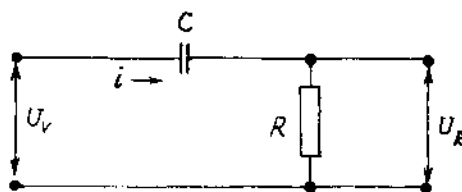
Trong đó $T = RC$ cũng là hằng số thời gian.

Đây là phân tử vi phân trễ cấp I.

Bài 8. Hãy xác định hàm truyền cho mạch điện 4 cực như hình vẽ 11.16.

Bài giải

Phương trình vi phân có dạng:



Hình 11.15.

$$U_V = R_i + L \frac{di}{dt}$$

$$U_R = L \frac{di}{dt}$$

Sau khi thực hiện phép biến đổi Laplace ta có:

$$U_V(s) = (R + SL) I(s)$$

$$U_R(s) = SLI(s)$$

$$\text{Vậy hàm truyền là: } Y(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{1}{1 + ST}$$

Trong đó: $T = \frac{L}{R}$ - hằng số thời gian. Đây là phần tử vi phân trễ cấp I.

Bài 9. Hãy xác định hàm truyền cho mạch điện 4 cực như hình vẽ 11.17.

Bài giải

Dựa vào kinh nghiệm có được ở trên hay thông qua toán tử Heaviside có thể viết ngay phương trình dưới dạng biến đổi

Laplace:

$$U_V(s) = \left[(R_1 + R_2) + \frac{1}{SC} \right] I(s)$$

$$U_R(s) = \left(R_2 + \frac{1}{SC} \right) I(s)$$

Từ đây có hàm truyền:

$$Y(s) = \frac{1 + ST_1}{1 + ST_2}$$

Trong đó: $T_1 = R_2 C$; $T_2 = (R_1 + R_2) C$.

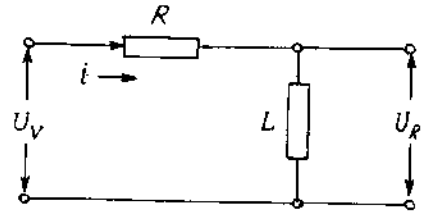
Đây là phần tử chậm pha do $T_2 > T_1$ nên nếu đầu vào tác động một tín hiệu hình sin thì đầu ra cũng xuất hiện một tín hiệu hình sin trễ pha.

Bài 10. Tìm hàm truyền cho sơ đồ hình 11.18.

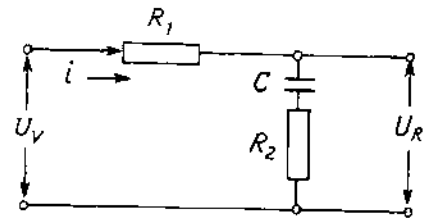
Bài giải

Ta có:

$$Y(s) = \frac{U_R(s)}{U_V(s)} = \frac{R_2}{R_2 + R_1 // \frac{1}{SC}}$$



Hình 11.16



Hình 11.17

Trong đó:

$$R_1 // \frac{1}{SC} = \frac{R_1 \frac{1}{SC}}{R_1 + \frac{1}{SC}} = \frac{R_1}{1 + SR_1 C}$$

$$\text{Vậy } Y(s) = A \frac{1 + ST_1}{1 + ST_2}$$

$$\text{Trong đó: } A = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$T_1 = R_1 C \quad T_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C$$

Do $T_1 > T_2$ nên người ta gọi phần tử này là nhánh pha.

Bài 11. Xác định hàm truyền cho mạch điện như hình 11.19.

Ta có:

$$Y(s) = \frac{R_2 + \frac{1}{SC_2}}{R_2 + \frac{1}{SC_2} + R_1 // \frac{1}{SC_1}}$$

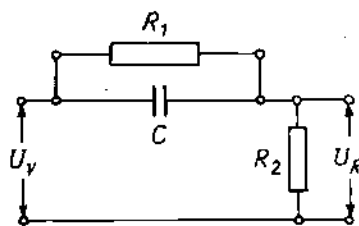
Sau khi cụ thể hóa $R_1 // \frac{1}{SC_1}$ và

rút gọn ta có:

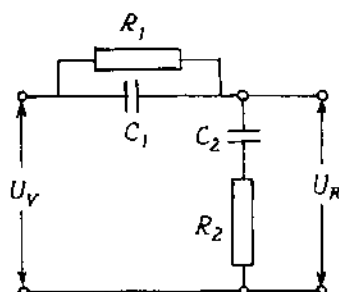
$$Y(s) = \frac{1 + S(T_1 + T_2) + S^2 T_1 T_2}{1 + S(T_1 + T_2 + T_{1,2}) + S^2 T_1 T_2}$$

$$\text{Trong đó: } T_1 = R_1 C_1 \quad T_2 = R_2 C_2 \quad T_{1,2} = R_1 C_2.$$

Người ta gọi phần tử này là phần tử chậm-nhanh pha bởi lẽ khi tín hiệu vào là sin thì tín hiệu ra chậm pha nếu ở tần số thấp, và nhanh pha nếu ở tần số cao.



Hình 11.18



Hình 11.19

Chương 12

BÀI TẬP VỀ ỔN ĐỊNH TRONG ĐIỀU CHỈNH

12.1. KHÁI NIỆM ỔN ĐỊNH CỦA MỘT HỆ ĐIỀU CHỈNH

Yêu cầu cơ bản của mọi hoạt động điều chỉnh là: có khả năng loại trừ hoặc hạn chế đến mức cần thiết ảnh hưởng của bất kỳ nhiễu loạn nào tác động lên hệ điều chỉnh.

Nếu có nhiễu tác động lên hệ điều chỉnh thì yêu cầu đặt ra là thông qua hoạt động điều chỉnh hệ có khả năng trở về trạng thái xác lập ban đầu và nếu có sự thay đổi tín hiệu cơ sở hệ phải xác lập cho được một trạng thái cân bằng mới.

Về ý nghĩa toán học, Liapunôp nhà toán học lỗi lạc đầu tiên đưa ra khái niệm chặt chẽ về sự ổn định như sau:

Một hệ được coi là ổn định nếu sau một thời gian lệch khỏi trạng thái cân bằng và bị bỏ mặc một mình, có khả năng trở về trạng thái cân bằng ban đầu.

Cách diễn đạt này đúng cho mọi hệ tuyến tính và phi tuyến.

Bằng ngôn ngữ toán học, đối với các hệ tuyến tính người ta biểu diễn điều kiện ổn định bằng hệ thức:

$$\int_0^{\infty} |W(t)| dt < M \quad \text{hoặc} \quad \lim_{t \rightarrow \infty} W(t) = 0$$

Trong đó M là đại lượng bị chặn, $W(t)$ là hàm trọng của hệ thống kín. Ý nghĩa vật lý này hoàn toàn phù hợp phát biểu trên của Liapunôp.

Nếu xét hệ bằng phương pháp phương trình vi phân, tức là xét hệ trên hàm quá độ, thì có thể nói: một hệ ổn định khi nghiệm thuần nhất của phương trình mô tả nó tiến tới 0 nếu thời gian t tăng vô cùng.

Rõ ràng chỉ cần khảo sát hàm trọng là đủ, bởi lẽ nếu hệ ổn định thì đối với một kích thích hữu hạn và có giá trị không đổi, phản ứng của hệ cũng sẽ hữu hạn và tiệm cận tới một giá trị xác lập.

Trường hợp tổng quát, đối với một hệ thống mạch kín (có phản hồi) thì hàm truyền có dạng:

$$W(s) = C \frac{(S - Z_1)(S - Z_2) \dots (S - Z_m)}{(S - P_1)(S - P_2) \dots (S - P_n)}$$

Giả thiết $W(s)$ không có cực bội thì hàm trọng có dạng:

$$W(t) = \sum_{k=1}^n C_k e^{P_k t}$$

Cũng có thể dùng phương trình vi phân để xét tính ổn định của một hệ thống qua việc xét nghiệm: $x_k(t) = \sum_{k=1}^n C_k e^{P_k t}$ của phương trình thuần nhất mô tả hệ thống mạch kín trong đó P_k là các nghiệm đơn của phương trình đặc trưng tương ứng:

$$K(s) = (S - P_1) (S - P_2) \dots (S - P_n) = 0 \quad (12.1)$$

đồng thời cũng là cực của $W(s)$. Các P_k có thể là những số thực, song cũng có thể là các cặp số phức liên hợp. Còn C_k là các hằng số phụ thuộc vào điều kiện ban đầu.

Nếu mọi nghiệm thực hay phần thực của các nghiệm phức đều là âm, quá trình quá độ suy giảm dần, hoạt động của hệ ổn định.

Vậy điều kiện cần và đủ để một hệ điều chỉnh tuyến tính ổn định là mọi nghiệm của phương trình đặc trưng phải nằm ở bên trái trục ảo mặt phẳng số phức.

Cần chú ý: chỉ cần một nghiệm nằm ở bên phải trục ảo mặt phẳng số phức cũng đủ làm cho hệ trở nên không ổn định.

Nói chung việc tìm nghiệm của các phương trình đại số bậc cao thường gặp khó khăn. Theo định lý Golova thì không có công thức của mạch kín để xác định nghiệm của phương trình đại số bậc cao hơn 4.

Để khắc phục những khó khăn này người ta đã xây dựng các tiêu chuẩn để kết luận về tính ổn định của hệ tuyến tính mà không cần phải xác định nghiệm của phương trình đặc trưng.

12.2. TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH ROUTH

Nếu ta có phương trình đặc trưng hệ thống kín là:

$$K(s) = a_0 S^n + a_1 S^{n-1} + \dots + a_{n-1} S + a_n = 0 \quad (12.2)$$

Xác định các hệ số thứ R bằng các hệ thức:

$$R_{00} = a_0; R_{01} = a_2; R_{02} = a_4 \dots$$

$$R_{10} = a_1; R_{11} = a_3; R_{12} = a_5 \dots$$

$$R_{20} = \frac{R_{10}R_{01} - R_{11}R_{00}}{R_{10}} = \frac{a_1 a_2 - a_3 a_0}{a_1}$$

$$R_{21} = \frac{R_{10}R_{02} - R_{12}R_{00}}{R_{10}} = \frac{a_1a_4 - a_5a_0}{a_1}$$

$$R_{30} = \frac{R_{20}R_{11} - R_{11}R_{10}}{R_{20}}$$

$$R_{31} = \frac{R_{20}R_{21} - R_{22}R_{10}}{R_{20}}$$

$$R_{(n-1)0} = \dots$$

$$R_{n0} = a_n$$

rồi lập dãy số: $R_{00}; R_{10}; R_{20}; \dots R_{n0} \rightarrow [R_{i0}] (i = 1, 2, \dots, n)$.

Trên cơ sở dãy số Routh phát biểu như sau:

Nếu tập hợp của những hệ số thứ R_{i0} gồm toàn phần tử dương thì hệ thống ứng với tập hợp này ổn định.

Chính xác hơn: điều kiện cần và đủ để hệ thống (tuyến tính) kín ổn định là mọi hệ số thứ R_{i0} phải dương ($i = 1, 2, \dots, n$).

Từ đây có thể rút ra hệ quả: điều kiện cần để ổn định là các hệ số a_i dương; nếu $n < 3$ thì đây còn lại điều kiện đủ.

Nếu phương trình (12.1) có một nghiệm thuần túy ảo thì có một trong các hệ số a_i bằng 0. Trong trường hợp này để tiếp tục xác định R_{i0} còn lại ta phải thay vào một số bé tùy ý.

Bài tập

Bài 1. Xét ổn định của hệ thống có phương trình đặc trưng là:

$$K(s) = S^4 + 3S^3 + S^2 + 6S + 2 = 0$$

Bài giải

Lập sơ đồ Routh (ở đây $i_{max} = n = 4$)

$$\begin{array}{cccc} 1 & ; & 1 & ; 2 ; 0 \\ 3 & ; & 6 & ; 0 ; 0 \\ \frac{3.1 - 6.1}{3} = 1 & ; & \frac{3.2 - 0.1}{3} & ; 0 ; 0 \\ \frac{-1.6 - 6.1}{3} = -12 & ; & 0 & ; 0 ; 0 \\ 2 & ; & 0 & ; 0 ; 0 \end{array}$$

Từ đây ta lập hợp R_{i0} là: $[R_{i0}] = 1; 3; -1; -12; 2$.

Hệ này không ổn định vì có 2 nghiệm của phương trình đặc trưng nằm ở nửa

mặt phẳng bên phải do có 2 lần đổi dấu (từ dương sang âm và từ âm sang dương).

Bài 2. Xét ổn định của phương trình đặc trưng của mạch kín:

$$S(s) = S^2 + 5S^2 + 6S + C = 0$$

Với giá trị nào của C (hằng số) thì hệ ổn định.

Bài giải

Sơ đồ Routh như sau:

$$\begin{array}{ccc} 1 & ; & 6 & ; & 0 \\ 5 & ; & C & ; & 0 \\ \hline \frac{30-C}{5} & ; & 0 & & \\ C & & & & \end{array}$$

Vậy để ổn định, nghĩa là, mọi $R_{i0} > 0$, các bất phương trình:

$$\frac{30-C}{5} > 0$$

$$C > 0$$

phải được thỏa mãn, nếu $0 < C < 30$ thì hệ ổn định.

12.3. TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH CỦA HURWITZ

Nếu từ phương trình đặc trưng hệ thống kín có dạng:

$$K(s) = a_0 S^n + a_1 S^{n-1} + \dots + a_{n-1} S + a_n = 0$$

Lập định thức Hurwitz

$$D = \begin{vmatrix} \underline{a_1} & \underline{a_3} & \underline{a_5} & \dots & 0 & \dots \\ a_0 & \underline{a_2} & a_4 & \dots & 0 & \dots \\ 0 & a_1 & \underline{a_3} & \dots & 0 & \dots \\ 0 & a_0 & a_2 & \dots & 0 & \dots \\ \dots & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-2} & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

Để rút ra được các định thức Hurwitz (còn gọi là định thức góc) H_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) và lập một tập hợp $[H_i]$ là dãy:

$$[H_i] = H_0; H_1; \dots; H_n$$

thì hệ ứng với nó ổn định khi và chỉ khi một phần tử trong tập $[H_i]$ đều lớn hơn 0, mà các định thức Hurwitz được xác định như sau:

$$H_0 = 1 \text{ (theo qui ước)}$$

$$H_1 = a_1$$

$$H_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3$$

$$H_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \dots$$

...

$$H_n = D$$

Nếu trong tập $[H_i]$ tồn tại phần tử 0, phương trình đặc trưng có một nghiệm thuần túy ảo. Một phần tử mang dấu âm ứng với một nghiệm có phần thực dương. Người ta đã chứng minh được rằng giữa hệ số Routh và định thức Hurwitz tồn tại quan hệ sau:

$$R_{i0} = \frac{H_i}{H_i - 1}$$

Có thể thấy ngay điều này, nếu nghiệm trùng với $i = 1, 2$. Quan hệ này cũng phần nào chứng tỏ bản chất giống nhau của hai tiêu chuẩn trên.

Bài tập

Bài 3. Xét ổn định của hệ thống mạch kín theo tiêu chuẩn Hurwitz

$$K(s) = S^3 + 5S^2 + 6S + C = 0$$

Bài giải

Lập định thức Hurwitz:

$$D = \begin{vmatrix} 5 & C & 0 \\ 1 & 6 & 0 \\ 0 & 5 & C \end{vmatrix}$$

và

$$H_0 = 1$$

$$H_1 = 5$$

$$H_2 = \begin{vmatrix} 5 & C \\ 1 & 6 \end{vmatrix} = 30 - C$$

$$H_3 = D = C \begin{vmatrix} 5 & C \\ 1 & 6 \end{vmatrix} = C(30 - C)$$

Muốn cho mọi phần tử trong tập hợp $[H_1]$ dương để thể hiện là hệ thống ổn định phải có điều kiện: $H_2 = 30 - C > 0$

$$H_3 = C(30 - C) > 0$$

Từ H_2 ta thấy phải đảm bảo $C < 30$ và từ H_3 lại có $C > 0$ (mặc dù nếu chỉ xét riêng H_3 , điều kiện $C < 0$ vẫn được thỏa mãn khi $C > 30$).

Tóm lại hệ ổn định khi: $0 < C < 30$.

Giá trị tới hạn $C_{th} = 30$ ứng với hệ dao động điều hòa (vì lúc đó $H_2 = 0$).

Điều này hoàn toàn phù hợp với kết quả thu được trước đây.

12.4. TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH MIKHAILÔP - LÊONHA

Mikhailop và Lêônha dùng ý nghĩa của số phức trong hình học để xét phương trình đặc trưng cho một hệ thống kín có tồn tại nghiệm ở phần thực dương hay không. Trên cơ sở này sẽ kết luận sự ổn định của hệ thống.

Biết rằng nếu nghiệm của phương trình đặc trưng là: S_i ($i = 1, 2, \dots, n$) và đơn giản mà không làm mất tính tổng quát nếu giả thiết rằng chúng đều là nghiệm đơn nên ta có phương trình đặc trưng như sau:

$$K(s) = (S - S_1)(S - S_2) \dots (S - S_n) = \prod_{i=1}^n (S - S_i)$$

$$\text{Ta lại biết rằng: } \arg K(s) = \sum_{i=1}^n \arg(S - S_i)$$

nên bằng trực quan hình học có thể biết được phương trình đặc trưng có nghiệm nằm ở nửa mặt phẳng bên phải bằng không. Thực vậy, nếu cho điểm S chạy dọc trục ảo theo tăng trị thì trên quan niệm vectơ - vectơ đỉnh S gốc S_i cho ta một thông tin (cụ thể là "góc quét") làm cơ sở giúp ta có khả năng kết luận về sự ổn định của hệ thống.

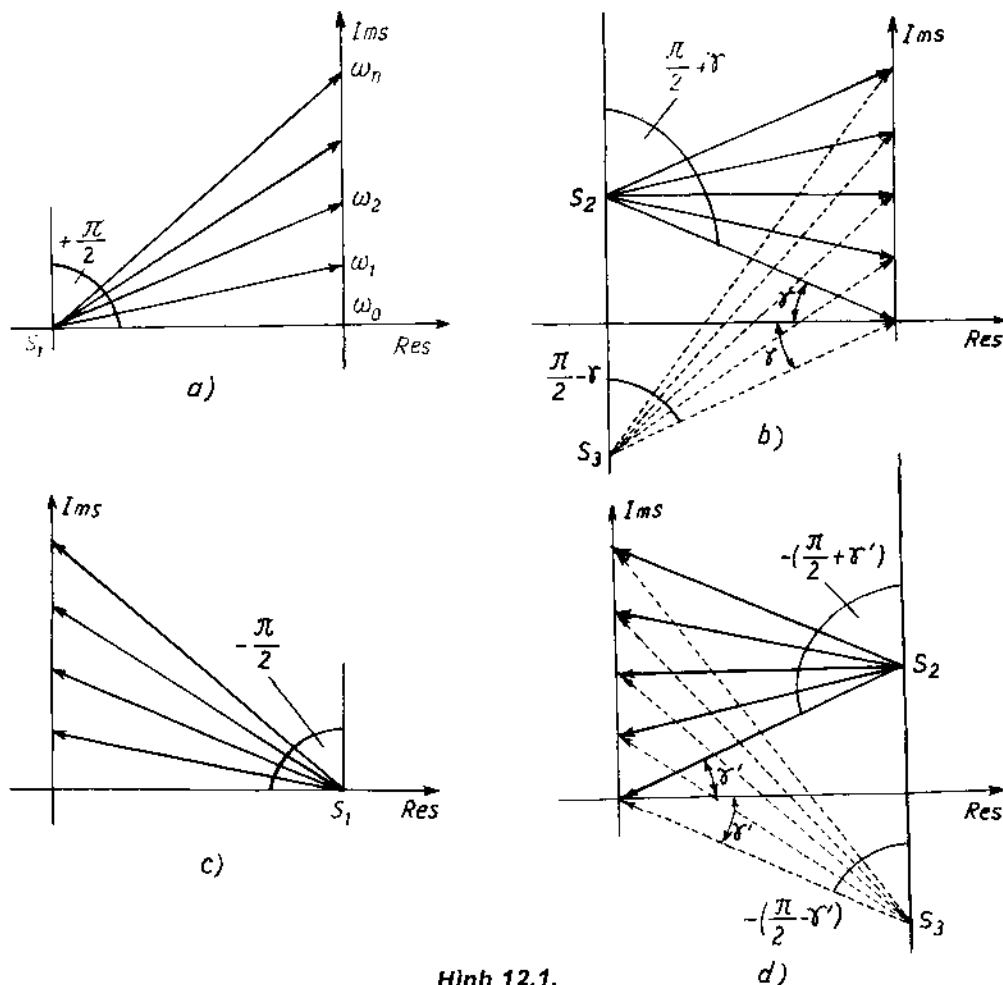
Theo hình 12.1 ta thấy khi s chạy trên phần dương của trục ảo thì ý nghĩa hình học của nó là $s = j\omega$ và ω tiến từ 0 đến ∞ . Góc quét ở đây chính là biến thiên argumen của $K(s)$ khi tiến từ 0 đến $j\omega$.

Như vậy một thừa số $(j\omega - s_i)$ khi ω biến thiên từ 0 đến ∞ góp vào biến thiên giá trị argumen (góc) của $K(j\omega)$, một lượng bằng:

$$\frac{\pi}{2}, \text{ nếu } s_i \text{ là số thực âm; } -\frac{\pi}{2} \text{ nếu } s_i \text{ là số thực dương.}$$

$$0, \text{ nếu } s_i = 0 \text{ hoặc } s_i \text{ là số thuần ảo, âm.}$$

$$\pi, \text{ nếu } s_i \text{ là số thuần ảo dương.}$$



Hình 12.1.

$\frac{\pi}{2} + \epsilon$, nếu s_i là số phức có phần thực âm và phần ảo dương.

$\frac{\pi}{2} - \epsilon$, nếu s_i là số phức có phần thực âm, phần ảo âm.

$-(\frac{\pi}{2} + \epsilon)$, nếu s_i là số phức có phần thực dương, phần ảo dương.

$-(\frac{\pi}{2} - \epsilon)$, nếu s_i là số phức có phần thực dương, phần ảo âm.

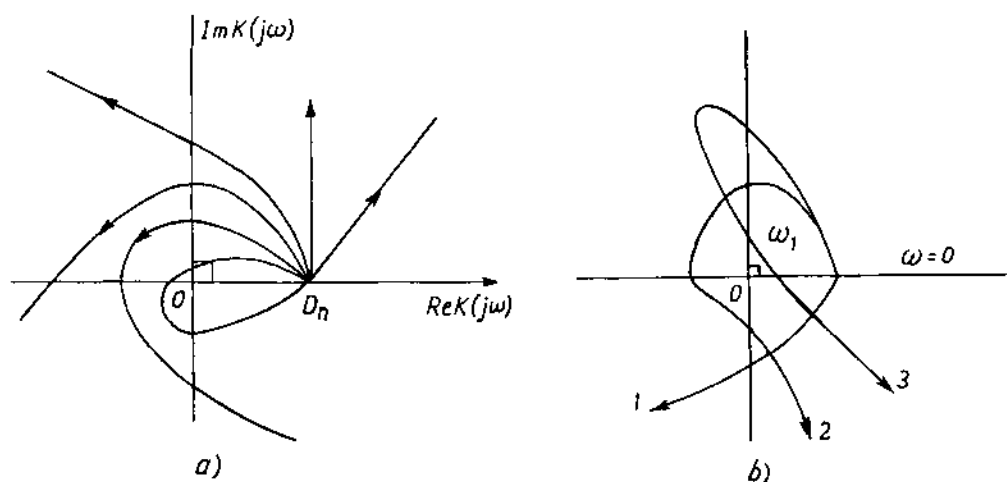
Đồng thời một cặp nghiệm phức bao giờ cũng góp vào một lượng là:

$$\pi = 2\frac{\pi}{2} \text{ (nếu } \text{Res}_i < 0 \text{) và } -\pi = -2\frac{\pi}{2} \text{ (nếu } \text{Res}_i > 0 \text{)}$$

Muốn cho toàn bộ nghiệm của phương trình đặc trưng hệ thống đóng đều nằm ở nửa bên trái của mặt phẳng phức, phải đảm bảo sao cho biến thiên argumen của

$K(j\omega)$ khi ω tiến từ 0 đến ∞ là $n\frac{\pi}{2}$ nếu n là bậc của phương trình. Theo trực quan hình học trên có thể phát biểu tiêu chuẩn ổn định này như sau:

Hệ điều chỉnh chỉ ổn định nếu trên mặt phẳng số phức đường đặc tính $K(j\omega)$ của nó xuất phát từ phần dương của trục thực, lần lượt đi qua các phần tư mặt phẳng - theo chiều dương (ngược chiều kim đồng hồ) - không đi qua gốc tọa độ và tiến ra vô cùng ở phần tư mặt phẳng thứ n - là bậc của $K(s)$ - khi ω tiến từ 0 đến ∞ .



Hình 12.2.

(Khi $n > 4$ việc đếm được lặp lại theo thứ tự kế tiếp nhau).

Cần chú ý rằng khái niệm không đi qua điểm gốc còn có nghĩa là điểm xuất phát không trùng với gốc (vì lúc đó $a_n = 0$).

Hình 12.2a cho các trường hợp ổn định và không ổn định (hình 12.1b). Các chỉ số của C ứng với bậc của $K(s)$.

12.5. PHƯƠNG PHÁP TÁCH MIỀN ỔN ĐỊNH D

(Còn gọi là phương pháp khảo sát ổn định của Noimac – Mayorop)

Theo lý thuyết của phương trình đại số tuyến tính, phân bố nghiệm của các phương trình tùy thuộc vào các hệ số của nó. Vì vậy, dựa vào các hệ số của phương trình đặc trưng hệ đóng người ta có thể kết luận rằng toàn bộ nghiệm của nó có nằm ở nửa bên phải của mặt phẳng số phức hay không, nghĩa là, hệ điều chỉnh ứng với phương trình đó có ổn định hay không?

Như vậy có thể quan niệm trạng thái phân bố nghiệm của phương trình đặc trưng là hàm của các biến hệ số. Nói cách khác, trạng thái phân bố này phụ thuộc vào tổ hợp của các hệ số. Nếu quan niệm mỗi phương án tổ hợp là một điểm của

không gian $(n+1)$ chiều để khảo sát một hệ cấp n - vì phương trình đặc trưng của hệ này có $n+1$ hệ số, trong đó có kể đến số hạng bậc không - người ta có thể tách ra một hay nhiều tập hợp điểm bao bởi một hay nhiều siêu diện n thứ nguyên (theo quan niệm thứ nguyên của URISON) đặc trưng cho phần giới hạn ổn định của hệ.

Nếu ký hiệu $D(\mu, \tau, \nu)$ là một tổ hợp hệ số của phương trình đặc trưng sao cho phương trình tồn tại μ nghiệm có phần thực âm, τ nghiệm thuần ảo và ν nghiệm có phần thực dương thì ở hệ cấp n ta có phương trình:

$$\mu + \tau + \nu = n$$

và hệ ứng với $D(\mu, 0, 0)$ sẽ ổn định.

Việc xét ổn định của một hệ cấp n trong không gian $(n+1)$ chiều vô cùng phức tạp, nặng về tính chất lý thuyết. Trong kỹ thuật các hệ số có khả năng biến đổi trong một hệ không nhiều, thường là 2 hoặc 3 (như hằng số thời gian, hệ số suy giảm hay hệ số mạch vòng), nhưng phổ biến nhất là 1. Để đơn giản và dễ hiểu dưới đây chỉ xét trường hợp một hệ số biến đổi.

Nếu ký hiệu hệ số biến đổi là P thì phương trình đặc trưng hệ đóng $K(s) = 0$ có thể viết dưới dạng:

$$K(s) = Q(s) + P \cdot R(s) = 0$$

hay
$$P = -\frac{Q(s)}{R(s)}$$

Trong thực tế P thường là số thực, song ở đây ta cho phép nó lấy các trị phức nữa. Và như vậy có thể dùng phép thế $s = j\omega$, nghĩa là:

$$P(j\omega) = -\frac{Q(j\omega)}{R(j\omega)}$$

Do $Q(s)$ và $R(s)$ thường là các đa thức, nên khi cho ω biến thiên từ $-\infty$ đến $+\infty$ thực chất là người ta ánh xạ trục ảo của mặt phẳng số phức thành đường $P(j\omega)$ của mặt phẳng số phức $P(s)$. Trên mặt phẳng s các điểm có phần thực dương đều nằm bên phải trục ảo theo chiều ω tăng. Như vậy $D(n, 0, 0)$ chỉ có thể nằm ở bên trái đường này nếu quả thực nó tồn tại.

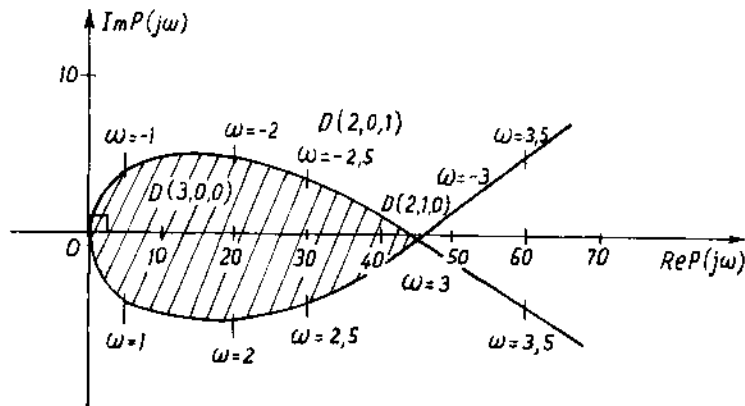
Có thể có nhiều miền nằm bên trái đường $P(j\omega)$. Vì vậy một câu hỏi được đặt ra là miền khảo sát trong số này có thực cho $D(n, 0, 0)$ hay chỉ là miền có μ cực đại mà thôi. Vấn đề sẽ trở nên phức tạp nếu ta chạy theo khảo sát lý thuyết, nhưng lại đơn giản trong vận dụng nếu áp dụng phương pháp thực nghiệm. Nghĩa là, lấy một điểm bất kỳ của miền này rồi xét ổn định của hệ theo một tiêu chuẩn đã biết, chẳng hạn, tiêu chuẩn Routh-Hurwitz thì cũng đã có thể kết luận một cách chính xác rồi.

Bài 4

Cho một hệ có phương trình đặc trưng mạch đóng là:

$$K(s) = s^3 + 5s^2 + 9s + P = 0$$

Với giá trị nào của P hệ ổn định?



Hình 12.3.

Bài giải

Theo đầu đề ở đây $R(s) = 1$, vì thế ta có:

$$P(j\omega) = -(j\omega)^3 - 5(j\omega)^2 - 9(j\omega) = j\omega^3 + 5\omega^2 - 9j\omega$$

Vẽ đường $P(j\omega)$ lên mặt phẳng $P(s)$. Đường này cắt trục thực tại $\omega = 0$ và $\omega = 3$ tức là $\text{Re}P = 0$ và $\text{Re}P = 45$. Trên hình 12.3 miền gạch sọc có thể cho $D(3,0,0)$ vì nó nằm bên trái đường $P(j\omega)$. Song, hãy xét điểm $P(s) = 0$ (ứng với $\omega = 0$). Lúc đó phương trình đặc trưng suy biến thành:

$$K(s) = s(s^2 + 5s + 9) = 0$$

suy ra:

$$K(s) = s(s + 2,5 + j1,66)(s + 2,5 - j1,66) = 0$$

Như vậy $K(s)$ có một nghiệm bằng 0 và hai nghiệm có phần thực âm. Kết quả này cho thấy bản thân đường $P(j\omega)$ ứng với tập hợp $D(2,1,0)$ và miền gạch sọc ứng với $D(3,0,0)$ là miền hệ số đảm bảo cho hệ ổn định. Thực vậy, nếu lấy $P = 1$ thì:

$$K(s) = s^3 + 5s^2 + 9s + 1 = 0$$

Theo tiêu chuẩn Hurwitz thì:

$$D = \begin{vmatrix} 5 & 1 & 0 \\ 1 & 9 & 0 \\ 0 & 5 & 1 \end{vmatrix}$$

$$H_0 = 1$$

$$H_1 = 5 > 0$$

$$H_2 + 45 - 1 = 44 > 0$$

$$H_3 = 44 > 0$$

Vậy kết luận trên là đúng.

Tổng hợp lại hệ ổn định khi $0 < P < 45$.

Có thể nghiệm kết quả này bằng tiêu chuẩn Routh-Hurwitz.

12.6. TIÊU CHUẨN ỔN ĐỊNH NYQUIST (NAIQUYXT)

Tiêu chuẩn này dựa trên suy luận vật lý là xét tính khuếch đại tín hiệu của một mạch cô lập (bỏ mặc một mình) để có kết luận về sự ổn định của nó. Cụ thể hơn, nếu hình dung mạch kín được cắt tại một điểm nào đó (thường là trước nơi so sánh) để được một mạch mở (hình 12.4) có đầu vào và đầu ra. Nếu tác động ở đầu vào một tín hiệu rồi ngừng ngay thì khoảng một thời gian sau ở đầu ra sẽ xuất hiện một tín hiệu (cùng tần số nếu kích thích là một dao động điều hòa và hệ đang xét là tuyến tính). Dẫn tín hiệu này trở lại đầu vào dưới dạng một tín hiệu vào kế tiếp bằng cách nối mạch trở lại ngay sau khi kích thích và trước khi tín hiệu xuất hiện ở đầu ra. Sau một số lần lặp lại quá trình trên người ta thấy 3 khả năng có thể xảy ra trong một hệ bỏ mặc một mình:

- Tín hiệu trong mạch yếu dần.
- Tín hiệu không tăng hoặc giảm cường độ (biên độ).
- Tín hiệu tăng dần cường độ.

Trong trường hợp thứ nhất mạch mở ổn định, trường hợp thứ hai ở phần giới hạn ổn định và trường hợp thứ ba mạch mở không ổn định. Người ta nói hệ có mạch mở ổn định là hệ tối thiểu pha.

Nếu hệ đóng có cấu trúc một mạch vòng (hồi tiếp một lần) thì sự ổn định của mạch mở cũng là sự ổn định của hệ. Nhưng nếu hệ có hồi tiếp nội (có nhiều mạch vòng bao nhau) nếu mạch mở không ổn định thì chưa hẳn là hệ đóng không ổn định, vì thế cần tiếp tục xem xét. Do vậy người ta phải hiểu về sự ổn định của một hệ tuyến tính dưới hai tiêu chuẩn riêng biệt sau:

- + Tiêu chuẩn Nyquist đơn giản.
- + Tiêu chuẩn Nyquist tổng quát (cho mọi trường hợp).

a) *Tiêu chuẩn Nyquist đơn giản* (cho hệ một mạch vòng). Biết rằng hàm truyền

mạch đóng có dạng:

$$W(s) = \frac{Y_t(s)}{1 + Y(s)}$$

và phương trình đặc trưng hệ đóng chính là:

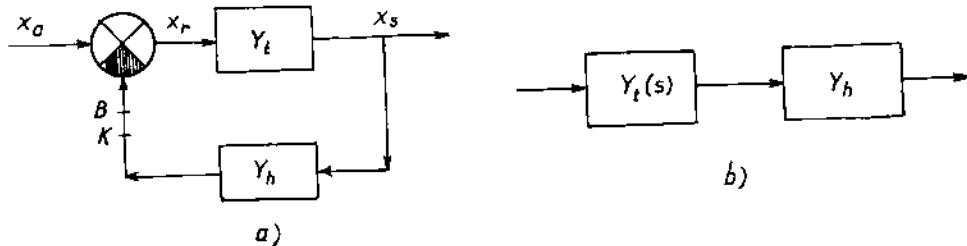
$$Y(s) + 1 = 0 \quad (12.3)$$

Như vậy hệ ở trạng thái phân giới ổn định khi phương trình:

$$Y(s) = -1 \text{ với } s = j\omega \quad (12.4)$$

được thỏa mãn, tức là (12.3) có nghiệm nằm trên trục ảo.

Phương trình (12.4) cho phép sử dụng hàm tần mạch mở (đặc tính tần số - biên độ - pha của mạch mở) để khảo sát ổn định một hệ. Điều đó rất thuận tiện cho sử dụng.



Hình 12.4.

Trong 12.4, vế phải là số thực, cho nên vế trái cũng phải là số thực (tức là điều kiện cùng pha được thỏa mãn). Vì vậy có thể viết:

$$|\operatorname{Re} Y(j\omega)| = 1 \quad (12.5)$$

Theo sơ đồ hình 12.4 và khái niệm hàm tần số:

$$Y(j\omega) = \frac{X_s(j\omega)}{X_a(j\omega)}$$

đồng thời dựa vào sự phân tích ở trên, hệ này chỉ ổn định khi:

$$|\operatorname{Re} Y(j\omega)| < 1 \quad (12.6)$$

Ý nghĩa hình học của điều kiện này thể hiện trên hình 12.5.

Đến đây tiêu chuẩn Nyquist đơn giản có thể phát biểu như sau:

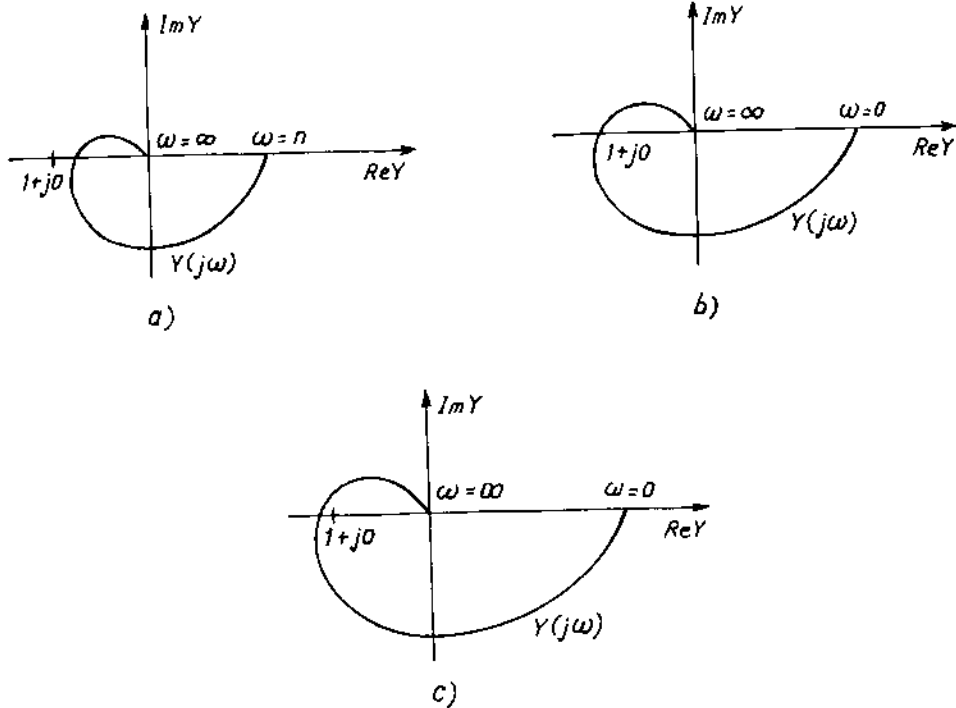
Nếu đường đặc tính tần số - biên độ pha của mạch mở một hệ cắt trục thực trong khoảng $(-1+j0;0)$ thì hệ đó ổn định và ngược lại thì không ổn định.

Hoặc:

Men theo đường đặc tính $Y(j\omega)$ theo phương ω tăng nếu điểm $-1+j0$ nằm ở phía bên trái đường này thì hệ ổn định, ngược lại thì không ổn định.

Hoặc:

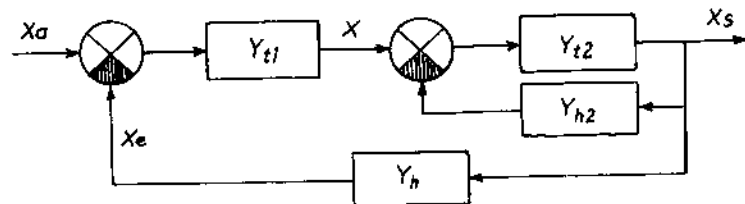
Nếu nối điểm $\omega = \infty$ với điểm $\omega = 0$ để hợp với đường đặc tính $Y(j\omega)$ tạo thành một đường khép kín thì hệ chỉ ổn định khi điểm $-1+j0$ nằm ngoài miền bao bởi đường này.



Hình 12.5.

b) Tiêu chuẩn Nyquist tổng quát.

Như đã đề cập ở trên khi hệ có hồi tiếp nội thì sự không ổn định của mạch mở chưa hẳn đã kéo theo sự không ổn định của



Hình 12.6.

mạch đóng. Thực vậy, hãy xét vấn đề này qua ví dụ trên hình 12.6. Có thể chứng minh rằng sự không ổn định của mạch mở của một hệ ổn định là do một vòng hồi tiếp nội nào đó gây ra.

Với các ký hiệu trên (hình 12.5) hàm truyền mạch đóng của hệ là:

$$W(s) = \frac{X_s(s)}{X_a(s)} = \frac{Y_{t1} \frac{Y_{t2}}{1 + Y_{t2} Y_{h2}}}{1 + Y_{h1} Y_{t1} \frac{Y_{t2}}{1 + Y_{t2} Y_{h2}}} = \frac{Y_t(s)}{1 + Y(s)}$$

trong đó: $Y_t = Y_{t1} \frac{Y_{t2}}{1 + Y_{t2} Y_{h2}}$

và $Y(s)$ là hàm truyền mạch mở có dạng:

$$Y(s) = \frac{X_s}{X_a} = Y_{t1} \frac{Y_{t2}}{1 + Y_{t2} Y_{h2}} Y_{h1} = Y_t Y_h \frac{Y_{t2}}{1 + Y_{t2} Y_{h2}} = Y_1^* Y_2^* = Y_1^* \frac{X_s}{X}$$

Nghĩa là, $Y_2^* = \frac{X_s}{X}$ là hàm truyền của vòng hồi tiếp nội. Như vậy, theo tính

chất ghép nối tiếp, sự không ổn định của Y_2^* kéo theo sự không ổn định của $Y(s)$. Tuy nhiên hệ đóng vẫn có thể ổn định nếu phương trình:

$$1 + Y(s) = 0 \quad (12.7)$$

có các nghiệm đều mang phần thực âm. Cần thấy rõ phương trình (12.7) tương đương (thường như vậy) nhưng không đồng nhất với phương trình đặc trưng hệ đóng mặc dù nghiệm của chúng trùng nhau. Thực vậy, hãy viết hàm truyền mạch đóng dưới dạng:

$$W(s) = \frac{Y_t}{1 + Y_t Y_h} = \frac{\frac{T_t(s)}{M_t(s)}}{1 + \frac{T_t(s)}{M_t(s)} \cdot \frac{T_h(s)}{M_h(s)}} = \frac{T_t(s) M_h(s)}{M_t(s) M_h(s) + T_t(s) T_h(s)} = \frac{X_s(s)}{X_a(s)}$$

với việc phân tích các X_t và Y_h thành các phân thức như trên. Từ đây:

$$X_s(s) [M_t(s) M_h(s) + T_t(s) T_h(s)] = X_a(s) T_t(s) T_h(s)$$

Như vậy phân trong ngoặc vuông của vế trái chính là đa thức đặc trưng của hệ đóng.

Mặt khác nếu khai triển đại lượng $1 + Y(s)$ ta thấy:

$$1 + Y(s) = 1 + Y_t Y_h = 1 + \frac{T_t}{M_t} \cdot \frac{T_h}{M_h} = \frac{M_t(s) M_h(s) + T_t(s) T_h(s)}{M_t(s) M_h(s)}$$

Trong trường hợp bình thường (thông thường) $M_t(s) M_h(s) \neq \infty$ thì nghiệm của hệ đóng

$$M_t(s) M_h(s) + T_t(s) T_h(s) = 0 \quad (12.8)$$

trùng với nghiệm của phương trình:

$$\frac{M_t(s) M_h(s) + T_t(s) T_h(s)}{M_t(s) M_h(s)} = 0 \quad (12.9)$$

Từ các phân tích và kết quả trên có thể nói, ở hệ có nhiều hồi tiếp nội, việc xét ổn định cũng có thể dựa trên hàm truyền mạch mở.

Để xem (12.9) có nghiệm ở nửa phải của mặt phẳng số phức không, hãy xét biến thiên argumen của $[1 + Y(s)]$ khi s chuyển động trên một đường thẳng thích hợp mà ở đây là trục ảo $j\omega$. Biết rằng:

$$\begin{aligned}\Delta \arg[1 + Y(s)] &= \Delta \arg \frac{M_i(s)M_h(s) + T_i(s)T_h(s)}{M_i(s)M_h(s)} = \\ &= \Delta \arg[M_i(s)M_h(s) + T_i(s)T_h(s)] - \Delta \arg[M_i(s)M_h(s)]\end{aligned}\quad (12.10)$$

Thông thường bậc của đa thức M_iM_h cao hơn của T_iT_h cho nên nếu giả thiết rằng bậc của M_iM_h là k thì bậc của $(M_iM_h + T_iT_h)$ cũng là k . Nếu ký hiệu số nghiệm có phần thực dương của phương trình đặc trưng hệ đóng là Z_r (cũng là số nghiệm có phần thực dương của 12.9b) thì số nghiệm còn lại, tức là, số nghiệm có phần thực âm phải là $(k - Z_r)$.

Nếu ký hiệu số điểm zêrô của M_iM_h (nghiệm của phương trình $M_iM_h = 0$, hay cũng là số cực của $Y(s)$, hay của $[1 + Y(s)]$), có phần thực dương là P_r thì số còn lại, nằm ở nửa mặt phẳng bên trái là $(k - P_r)$.

$$\Delta \arg [1 + Y(s)] = \{(k - Z_r) \pi - Z_r \pi - [(k - P_r) \pi - P_r \pi]\} = 2\pi(P_r - P_r) \quad (12.11)$$

do theo ngược chiều kim đồng hồ. Ngược lại, nếu đo theo chiều kim đồng hồ thì:

$$\Delta \arg [1 + Y(s)] = 2\pi (P_r - P_r) \quad (12.12)$$

Biểu diễn bằng hình học điều này, có nghĩa là khi ω biến thiên từ $-\infty$ đến $+\infty$, vectơ $[1 + Y(j\omega)]$ (xem hình 12.7) quay đi số vòng là:

$$N = Z_r - P_r \quad (12.13)$$

theo chiều kim đồng hồ, hoặc

$$N = P_r - Z_r \quad (12.14)$$

vòng ngược chiều kim đồng hồ. Muốn hệ ổn định phải thỏa mãn điều kiện $Z_r = 0$ nghĩa là:

$$Z_r = N + P_r = 0 \quad (12.15)$$

nếu đo theo chiều kim đồng hồ, hay:

$$Z_r = N - P_r = 0 \quad (12.16)$$

nếu đo theo chiều ngược kim đồng hồ.

Theo các kết quả trên ta có thể phát biểu tiêu chuẩn Nyquist tổng quát như

sau:

Điều kiện cần và đủ để một hệ (điều chỉnh) tuyến tính ổn định là khi đường đặc tính tần số-biên độ-pha của mạch mở bọc lấy điểm $(-1+j)$ với số lần bằng số cực có phần thực dương của hàm truyền mạch mở, theo chiều ngược với chiều kim đồng hồ.

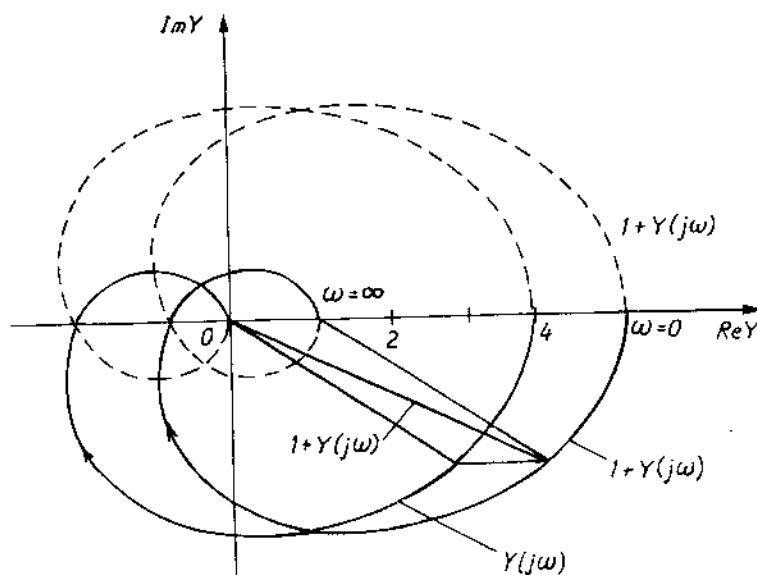
Nói cách khác, biểu đồ của đường $1+Y(j\omega)$ trong mặt phẳng phức phủ bọc lấy góc toạ độ với số lần bằng số cực của hàm truyền mạch mở $Y(s)$.

Một điều đáng chú ý là trong phần trên, các điểm cực hay điểm zêro nằm trên trục ảo chưa được đề cập tới. Vì vậy khi xét phải tránh nó bằng một đường lượn nửa cung tròn (sang trái hoặc phải tùy ý, miễn sao khi đếm các điểm ở nửa bên phải mặt phẳng phức phải phù hợp) có bán kính nhỏ tùy ý.

Trong khảo sát cụ thể, dùng $Y(s)$ ánh xạ lên toàn bộ nửa mặt phẳng phức bên phải bao bởi trục ảo, các đường lượn tránh các điểm cực hay điểm zêro nằm trên trục ảo (nếu có) và nửa đường tròn bán kính $R \rightarrow \infty$. Kế đó xem ảnh của đường biên này-gọi là đường cong Nyquist - bọc lấy điểm $(-1 + j0)$ bao nhiêu lần để có thể kết luận về sự ổn định của hệ.

Bài 5

Khảo sát tính ổn định hệ có hàm truyền mạch mở: $Y(s) = \frac{10}{s(s^2 + 5s + 4)}$



Hình 12.7.

Bài giải

Phân tích mẫu của $Y(s)$ thành dạng thừa số nghiệm:

$$Y(s) = \frac{10}{s(s^2 + 5s + 4)} = \frac{10}{s(s+4)(s+1)}$$

sẽ thấy ngay hàm truyền mạch mở có 3 cực:

$$p_1 = 0; p_2 = -4; p_3 = -1$$

Trên hình 12.7 đánh dấu các điểm cực và vẽ đường biên gồm nửa đường tròn S bán kính $R \rightarrow \infty$, trục ảo và nửa đường tròn ρ bán kính $\varepsilon \rightarrow 0$ vòng sang phải tránh điểm p_1 (trùng với gốc toạ độ).

Trong mặt phẳng phức s :

Phương trình của đường S là: $s = Re^{j\varphi}$

Phương trình của đường ρ là: $s = \varepsilon e^{j\varphi}$.

Trên mặt phẳng $Y(s)$ hay với ánh xạ $Y(s)$ ảnh của đường S có phương trình là:

$$\begin{aligned} Y(s) &= \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{10}{R^3 e^{3j\varphi} + 5R^2 e^{2j\varphi} + 4R e^{j\varphi}} \\ &= \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{10}{R^3 e^{3j\varphi} \left(1 + 5 \frac{e^{-j\varphi}}{R} + 4 \frac{e^{-2j\varphi}}{R^2} \right)} = 0 e^{-3j\varphi} \end{aligned}$$

và ảnh của ρ có phương trình:

$$Y(s) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{10}{\varepsilon^3 e^{3j\varphi} + 5\varepsilon^2 e^{2j\varphi} + 4\varepsilon e^{j\varphi}} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{10}{\varepsilon e^{j\varphi} (\varepsilon^2 e^{2j\varphi} + 5\varepsilon e^{j\varphi} + 4)} = \infty e^{-j\varphi}$$

Các hệ quả trên đủ để xây dựng ảnh của đường bao nói trên-đường cong Nyquist-trong mặt phẳng $Y(s)$ và để tiện theo dõi, trên hình 12.8 có đánh dấu một số điểm đặc biệt (phù hợp với môđun và agument của phương trình ảnh). Theo cách chọn đường ρ như trong hình vẽ, ta thấy $P_f = 0$. Trên hình 12.8b cho thấy đường cong Nyquist không bọc lấy điểm $(-1+j0)$ nên $N = 0$ và theo (12.11a) ta có:

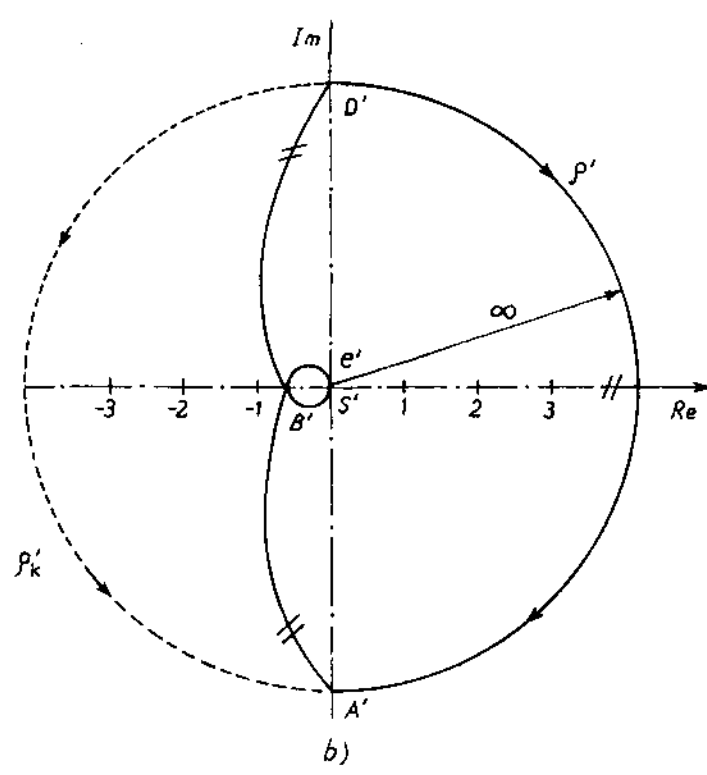
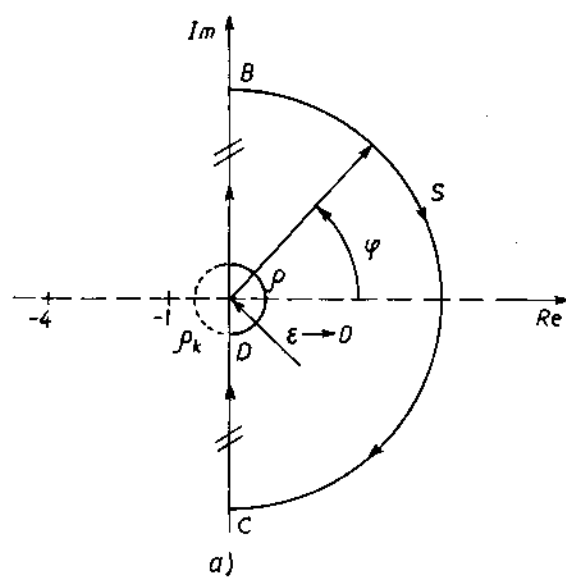
$$N_f = P_f + N = 0 + 0 = 0$$

Nghĩa là, phương trình đặc trưng hệ đóng không có nghiệm nằm ở nửa mặt phẳng bên phải, vậy hệ ổn định.

Dáng chú ý là nếu lấy đường ρ vòng sang trái (đường nét đứt hình 12.8b) kết quả hoàn toàn đồng nhất $Z_f = 0$. Thực vậy, lúc đó $P_f = 1$, nhưng đường Nyquist lại bọc lấy điểm $-1 + j0$ một lần theo chiều dương toán học, nên $N = 1$ và theo 12.16):

$$Z_f = N - P_f = 1 - 1 = 0$$

Vậy hệ ổn định.



Hình 12.8

Chương 13

BÀI TẬP VỀ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BẰNG DẦU ÉP

Trong hệ thống điều khiển, người ta thường dùng các cơ cấu dầu ép khác nhau, vì chúng có những ưu điểm cơ bản như: thực hiện được lực tác động lớn với kích thước nhỏ, trọng lượng bé. Với những lực như thế ta dễ dàng thực hiện điều khiển những gia tốc lớn, điều khiển chính xác cả những tải trọng lớn.

So với các cơ cấu bằng điện thì cơ cấu dầu ép có kết cấu cứng vững hơn, chịu được va đập lớn hơn, làm việc ổn định trong môi trường có nhiều rung động, tác động được nhanh, v.v... Do đó, cơ cấu dầu ép được dùng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển của máy bay, tên lửa, máy công cụ, máy động lực, máy vận chuyển, v.v...

Do kết cấu và đặc điểm, các cơ cấu điều khiển bằng điện, khí ép và dầu ép thường dùng ở những phạm vi khác nhau. Tuy nhiên, có rất nhiều nhiệm vụ đều có thể thực hiện bằng các cơ cấu: điện, dầu ép và khí ép. Do đó, khi thiết kế cần phải xuất phát từ các đặc điểm về kích thước, trọng lượng, giá thành, độ chính xác, độ tin cậy, tuổi thọ, v.v... để lựa chọn cơ cấu cho thích hợp. Có khi còn phải tính toán chính xác hoặc phải xây dựng cả mô hình để có thể quyết định sự lựa chọn. Nhiều khi trong một hệ thống có thể dùng hỗn hợp hai hay ba loại cơ cấu điều khiển (điện, khí ép, dầu ép).

Đúng về chức năng, bất kỳ một hệ thống dầu ép nào cũng có hai phần chính: cơ cấu biến đổi năng lượng (bơm dầu, động cơ dầu, xylanh truyền lực) và các cơ cấu điều khiển, điều chỉnh (các loại van). Ngoài ra, còn có một số thiết bị phụ khác nhằm đảm bảo điều kiện làm việc bình thường, cũng như thỏa mãn một số yêu cầu đối với hệ thống dầu ép.

Đúng về mặt kết cấu, một hệ thống điều khiển bằng dầu ép gồm có ba bộ phận chính: bơm dầu, các van điều khiển và các cơ cấu chấp hành (động cơ dầu, xylanh truyền lực). Nhiệm vụ tổng quát của từng bộ phận là: bơm dầu dùng để tạo nên một áp suất dầu; van dùng để điều chỉnh hướng và lưu lượng của dòng dầu chảy; cơ cấu chấp hành sử dụng áp suất của dầu để thực hiện nhiệm vụ đã cho.

Vì các cơ cấu dầu ép thường là những hệ phi tuyến, nên việc xây dựng hàm truyền đạt từ các phương trình vi phân khá phức tạp. Để tuyến tính hóa các phương trình này người ta thường lấy hai trị số đầu của dãy số Taylor ở quanh điểm làm việc nào đó của cơ cấu. Việc tính toán gần đúng này không dẫn đến sai số lớn khi nghiên cứu những đặc tính tĩnh và động của cơ cấu điều khiển.

Để đơn giản hóa các phương trình vi phân, khi viết phương trình của các mô hình toán học của hệ thống dầu ép, người ta thường bỏ qua một số yếu tố:

- Cho độ dài của ống dẫn dầu không quá 1 m, và do đó, tổn thất áp suất trong ống dẫn dầu không đáng kể.

- Những tác động của nhiễu trong hệ thống xảy ra trong thời gian rất ngắn.

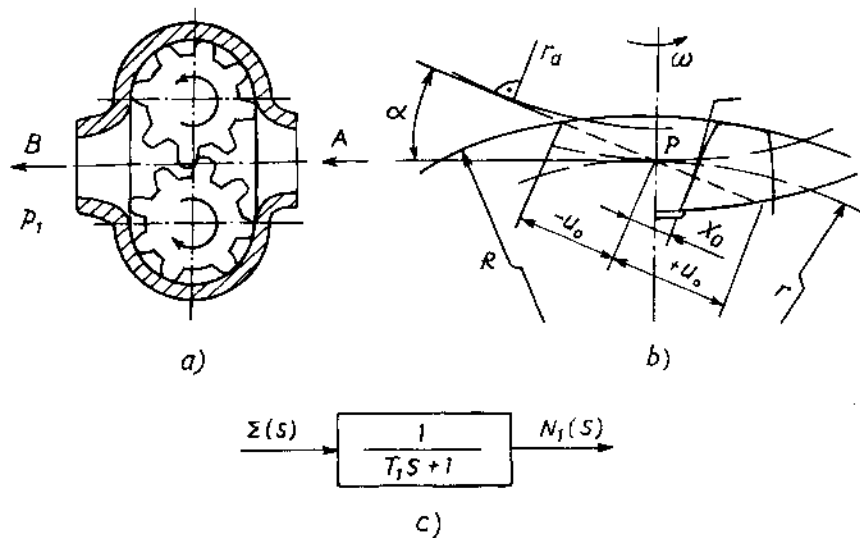
- Độ nhớt động V và số Reynold Re của dầu là hằng số.

Trên cơ sở đó, chúng ta lần lượt nghiên cứu một số cơ cấu điển hình của hệ thống điều khiển bằng dầu ép.

13.1. BƠM DẦU

Bơm dầu là cơ cấu dùng để tạo nên thế năng của dầu ép dưới dạng áp suất của dầu. Trong hệ thống điều khiển bằng dầu ép, người ta dùng chủ yếu là bơm thể tích với các loại chính yếu như sau:

- Bơm bánh răng.
- Bơm cánh quạt.
- Bơm pittông.



Hình 13.1. Sơ đồ bơm bánh răng.

Về nguyên lý làm việc, đặc điểm, kết cấu và tính toán lưu lượng của các loại bơm ta có thể tìm thấy ở các sách chuyên đề khác. Ở đây, ta chỉ đề cập đến phương pháp mô hình hóa toán học của một loại bơm. Trên cơ sở đó, ta có thể xác định được các phương trình vi phân đặc trưng cho những loại bơm khác.

Bơm bánh răng là loại bơm được dùng rộng rãi nhất vì nó đơn giản về kết cấu

và về công nghệ chế tạo. Nếu như bánh răng quay theo chiều mũi tên như trên hình 13.1a, thì dầu được dẫn đầy vào các rãnh răng ở cửa A và chuyển sang cửa B. Trong quá trình các răng ăn khớp nhau, dầu bị đẩy ra khỏi rãnh và nén ra cửa B với áp suất p_1 .

Hai bánh răng của bơm thường có kích thước giống nhau và có dạng thân khai. Trong trường hợp hệ số ăn khớp $\varepsilon = 1$ thì lưu lượng tức thời của bơm bánh răng là:

$$Q_t = b\omega(R^2 - r^2 - x_0^2) \quad (13.1)$$

Ở đây: b - chiều rộng bánh răng.

ω - vận tốc góc bánh răng.

R, r - bán kính vòng đỉnh răng và vòng chia răng.

x_0 - khoảng cách giữa cực ăn khớp P và điểm ăn khớp bất kỳ của cặp bánh răng.

Từ hình 13.1b, ta thấy: nếu đặt u_0 là phân nửa độ dài đường ăn khớp của hai bánh răng thân khai cùng kích thước thì x_0 sẽ biến thiên trong giới hạn từ $-u_0$ đến $+u_0$. Điểm ăn khớp di động trên đường ăn khớp từ điểm vào khớp qua cực ăn khớp P đến điểm ra khớp, có nghĩa là, trị số x_0 thay đổi theo góc quay của bánh răng. Do đó, lưu lượng của bơm cũng thay đổi theo thời gian. Nếu ta cho bán kính cơ sở của bánh răng là r_c và nếu bánh răng quay với góc $d\beta = \omega dt$, thì điểm ăn khớp sẽ di động một đoạn là:

$$dx_0 = r_c d\beta = r_c \omega dt$$

Trong trường hợp bánh răng thân khai:

$$r_c = r \cos \alpha$$

Ở đây: α - góc ăn khớp của bánh răng.

Do đó: $dx_0 = r \cos \alpha \omega dt$

Ta cho $x_0 = 0$, nếu $t = 0$. Sau khi lấy tích phân, ta có:

$$x_0 = r \cos \alpha \cdot \omega \cdot t \quad (13.2)$$

Thay trị số x_0 vào công thức (13.1) ta được:

$$Q_t = b\omega(R^2 - r^2 - r^2 \omega^2 \cos^2 \alpha \cdot t^2) = f(t) \quad (13.3)$$

Nếu thời gian ăn khớp của một cặp răng là T (tức là thời gian đẩy dầu ra khỏi rãnh răng), thì thời gian t sẽ thay đổi trong giới hạn $-\frac{T}{2}$ và $+\frac{T}{2}$.

Với sự ăn khớp của cặp răng kế tiếp, lưu lượng tức thời Q_1 sẽ lặp lại chu kỳ theo thời gian T .

Nếu trị số ăn khớp $\varepsilon = 1$ thì:

$$T = \frac{60}{nz} [\text{sec}]$$

Với n - số vòng quay của bánh răng.

z - số răng.

Nếu $\varepsilon > 1$ thì:

$$T = \frac{60}{nz}(\varepsilon + 1)$$

Ta đặt: $a_1 = b_0(R^2 - r^2)$

và $a_2 = b_0^3 r^2 \cos 2\alpha,$

Thì phương trình (13.3) có thể viết:

$$Q_t = f(t) = a_1 + a_2 t^2 \quad (13.4)$$

Phương trình này thay đổi tuần hoàn theo thời gian T . Do đó, ta có thể phân tích thành dãy Fourier:

$$Q_t = f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos \frac{2k\pi}{T} t + b_k \sin \frac{2k\pi}{T} t \right) \quad (13.5)$$

$$\text{Ở đây: } a_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos \frac{2k\pi}{T} t dt$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin \frac{2k\pi}{T} t dt$$

Với $k = 1, 2, 3, \dots$

$f(t) = a_1 + a_2 t^2$ là phương trình đối xứng, vì $f(-t) = f(t)$. Do đó $b_k = 0$, dãy Fourier là dãy cosin có:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} (a_1 + a_2 t^2) dt = \frac{4}{T} \left[a_1 t + \frac{a_2}{3} t^3 \right]_0^{T/2} = 2a_1 = \frac{1}{6} a_2 T^2$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos \frac{2k\pi}{T} t dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} a_1 \cos \frac{2k\pi}{T} t dt - \frac{4}{T} \int_0^{T/2} a_2 t^2 \cos \frac{2k\pi}{T} t dt = a_{k1} + a_{k2}$$

Ở đây:

$$a_{k1} = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} a_1 \cos \frac{2k\pi t}{T} dt = \frac{4a_1}{T} \left[\sin \frac{2k\pi}{T} t \right]_0^{T/2} = 0$$

$$a_{k2} = -\frac{4}{T} \int_0^{T/2} a_2 t^2 \cos \frac{2k\pi}{T} t dt = -\frac{4a_2}{T} \int_0^{T/2} t^2 \cos at dt$$

Với $a = \frac{2k\pi}{T}$

Như chúng ta đã biết:

$$\int t^2 \cos at dt = \frac{2t}{a^2} \cos at + \left(\frac{t^2}{a} - \frac{2}{a^3} \right) \sin at + C$$

Do đó:

$$\begin{aligned} a_{k2} &= -\frac{4a_2}{T} \left[\frac{2t}{a^2} \cos at + \left(\frac{t^2}{a} - \frac{2}{a^3} \right) \sin at \right]_0^{T/2} = \\ &= -\frac{4a_2}{T} \left(\frac{T}{a^2} \cos \frac{2k\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} \right) = -\frac{4a_2}{\left(\frac{2k\pi}{T} \right)^2} (-1)^k = \frac{a_2 T^2}{k^2 \pi^2} (-1)^{k+1} \end{aligned}$$

Cuối cùng:

$$a_k = a_{k1} + a_{k2} = \frac{a_2 T^2}{k^2 \pi^2} (-1)^{k+1}$$

Thay các thừa số của dãy Fourier vào phương trình (13.5):

$$Q_t = f(t) = a_1 - \frac{a_2 T^2}{12} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{a_2 T^2}{\pi^2} \cdot \frac{(-1)^{k+1}}{k^2} \cos \frac{2k\pi}{T} t$$

Với giá trị này, ta có lưu lượng của bơm trong thời gian t:

$$Q_b = \int_0^t f(t) dt = a_1 t - \frac{a_2 T^2}{12} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{a_2 T^3}{2\pi^3} \cdot \frac{(-1)^{k+1}}{k^3} \cdot \sin \frac{2k\pi}{T} t \quad (13.6)$$

Thay giá trị của a_1 , a_2 và T vào công thức (13.6), ta có thể tính được lưu lượng của bơm. Từ công thức (13.6) ta có thể thấy: hai trị số đầu ở vế bên phải không gì khác hơn là lưu lượng trung bình không đổi Q_{b0} của bơm; trị số thứ ba là độ nhấp nhô lưu lượng ΔQ_b thay đổi theo chu kỳ. Do đó, phương trình (13.6) có thể viết:

$$Q_b = Q_{b0} + \Delta Q_b \quad (13.7)$$

Ở đây:

$$Q_{b0} = a_1 t - \frac{a_2 T^2}{12} t$$

$$\Delta Q_b = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{a_2 T^3}{2\pi^3} \cdot \frac{(-1)^{k+1}}{k^3} \sin \frac{2k\pi}{T} t$$

Nếu áp suất của dầu đưa vào hệ thống điều khiển là p_1 , thì tổng tổn thất thể tích của bơm là $Q_v = f(p_1, v)$.

Vì độ hở ở các môi chấn khí không quá một vài phần trăm mm và áp suất dầu

sử dụng không vượt quá 1.500 N/cm^2 , do đó lượng dầu rò Q_d ở nhánh vào có thể viết:

$$Q_d = k_m p_1$$

Ở đây: $k_m \left[\frac{\text{cm}^5}{\text{N.s}} \right]$ - hệ số rò dầu được xác định bằng lượng dầu rò trên đơn vị

thời gian dưới tác dụng của áp suất bằng 1 N/cm^2 .

Nếu thể tích dầu từ bơm cho đến cơ cấu điều khiển là V , dưới tác dụng của sự thay đổi áp suất Δp_1 , thể tích dầu sẽ thay đổi:

$$\Delta v = \frac{V}{E} \Delta p_1$$

Ở đây: E - môđun đàn hồi của dầu $[\text{N/cm}^2]$.

Do đó, lượng dầu sẽ giảm trên đơn vị thời gian do tính đàn hồi của dầu là:

$$Q_r = \lim_{\Delta t} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{V}{E} \cdot \frac{dp_1}{dt} = \frac{V}{E} p_1 \quad (13.8)$$

Nếu lượng dầu do bơm đưa vào hệ thống điều khiển là Q , thì lưu lượng thực tế của bơm sẽ là:

$$Q_1 = Q_{b0} + Q_b - Q_v = Q + Q_d + Q_r \quad (13.9)$$

(13.9) là phương trình phi tuyến. Để tuyến tính hóa, ta lấy hai trị số đầu của dãy số Taylor. Ký hiệu thành phần cố định của biến số bằng chỉ số "0" và phần thay đổi bằng " Δ ".

Vì ta cho độ nhớt và trị số Re là hằng số, nên phương trình (13.9) có thể viết:

$$\begin{aligned} Q_{b0} + \Delta Q_b - Q_{v0} - \left(\frac{\partial Q_v}{\partial p_1} \right) \Delta p_1 &= \\ &= Q_0 + \left(\frac{\partial Q}{\partial p_1} \right) \Delta p_1 + Q_{d0} + \left(\frac{\partial Q_d}{\partial p_1} \right) \Delta p_1 + \left(\frac{\partial Q_r}{\partial p_1} \right) \Delta p_1 \end{aligned} \quad (13.10)$$

$$\text{Ở đây: } \left(\frac{\partial Q_r}{\partial p_1} \right) = \frac{V}{E}$$

Ở trạng thái ổn định ta có: $Q_{b0} - Q_{v0} = Q_0 + Q_{d0}$

Do đó, phương trình (13.10) có thể viết:

$$\Delta Q_b = \frac{V}{E} \Delta p_1 + \left(\frac{\partial Q}{\partial p_1} + \frac{\partial Q_d}{\partial p_1} + \frac{\partial Q_v}{\partial p_1} \right) \Delta p_1 \quad (13.11)$$

Để thuận tiện cho việc giải các phương trình vi phân, ta đưa vào các thông số tương đối và các hệ số có thứ nguyên hoặc không có thứ nguyên sau đây:

$$n_1 = \frac{\Delta p_1}{p_{10}}; n_2 = \frac{\Delta p_2}{p_{20}}$$

$$q_0 = \left(\frac{\partial Q}{\partial p_1} + \frac{\partial Q_d}{\partial p_1} + \frac{\partial Q_v}{\partial p_1} \right) p_{10} \text{ [cm}^3/\text{s]}$$

$$T_1 = \left(\frac{V}{E} p_{10} \right) \frac{1}{q_0} [\text{s}]$$

Thay các thông số và hệ số trên vào phương trình (13.11), sắp xếp lại, ta có:

$$\frac{\Delta Q_b}{q_0} = T_1 n_1 + n_1 \quad (13.12)$$

Nếu ta cho tất cả giá trị khởi đầu đều bằng 0, khi $t = 0$, thì dạng toán tử của phương trình (13.12) sẽ là:

$$\Sigma(x) = T_1 s N_1(s) + N_1(s) = (T_1 s + 1) N_1(s) \quad (13.13)$$

$$\text{Ở đây: } \Sigma(x) = \frac{1}{q_0} \int \{\Delta Q_b\}$$

Đại lượng $\Sigma(x)$ không có gì khác hơn là sự thay đổi lưu lượng do kết cấu của bơm và đặc điểm của dầu. Sự thay đổi này đã tạo nên sự thay đổi áp suất $N_1(s)$ cung cấp cho hệ thống dầu ép. Nếu cho $\Sigma(x)$ là tín hiệu vào, $N_1(s)$ là tín hiệu ra thì sơ đồ khối của bơm bánh răng có dạng như hình 13.1c.

13.2. VAN TRÀN, VAN AN TOÀN

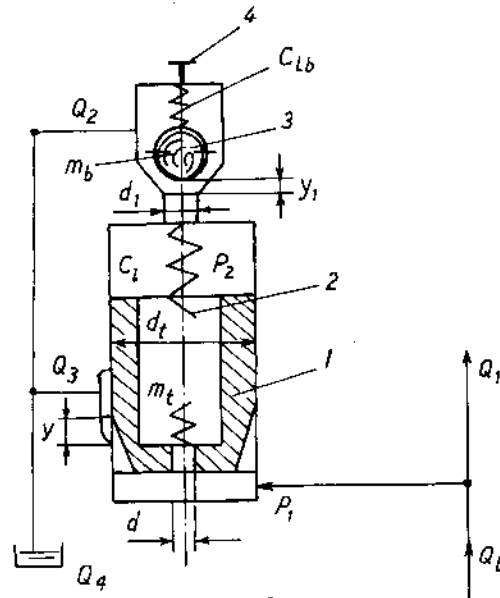
Trong hệ thống dầu ép, van tràn và van an toàn có chức năng gần như nhau. Cả hai đều có chức năng phòng quá tải cho hệ thống dầu ép, tức là xả bớt dầu ra ngoài khi áp suất dầu vượt quá giá trị cho phép. Ngoài nhiệm vụ trên, van tràn còn có chức năng khác là luôn luôn làm việc để xả bớt lượng dầu thừa. Trên cơ sở đó tự động điều chỉnh áp suất không đổi cho cả hệ thống.

Kết cấu của hai loại van này thường giống nhau và chúng có nhiều kiểu khác nhau. Ta chỉ xét loại van tràn có nhiều ưu điểm nhất và cũng được dùng phổ biến nhất, đó là loại van tổ hợp từ van bi và van pittông (hình 13.2). Lượng dầu Q_2 qua lỗ tiết lưu d của pittông và khe hở y_1 của van bi để dẫn ra ngoài. Lượng dầu Q_3 thì qua khe hở y của pittông (1) để về bể.

Nếu không tính đến trọng lượng của khối chất lỏng ở phía trên pittông và cho áp suất ở cửa ra vào của van bi và van pittông bằng 0, thì ta có thể viết các phương trình sau:

a) Phương trình cân bằng lực của van pittông

$$m_t \ddot{y} = P_t - P_m - P_l - P_h \quad (13.14)$$



Hình 13.2. Sơ đồ van tràn.

Ở đây: m_t - khối lượng của pittông.

$$P_t = A_t(p_1 - p_2) = f(y, p_1, p_2)$$

Với:

A_t - bề mặt tác dụng của pittông, nó thay đổi theo lượng di động y của pittông, tức là,

$$A_t = A_{t0} - k_{ly}$$

Ở đây: $A_{t0} = \frac{d_t^2 \pi}{4}$;

k_l - hằng số phụ thuộc vào hình dáng rãnh thoát dầu.

P_m - lực ma sát giữa pittông và bạc., $P_m = P_{m0} + \mu_t y$

Ở đây: P_{m0} - lực ma sát tĩnh.

μ_t - hệ số ma sát động của pittông.

$P_l = P_{l0} + C_{ly}$ với: P_{l0} - lực căng sơ bộ của lò xo (2), C_l - hằng số lò xo.

P_h - lực động lực học dầu ép:

$$P_h = \frac{2}{\sqrt{\eta}} A p_1 \cos \theta$$

Với η - hệ số thoát dầu.

θ - góc tạo bởi hướng dòng chảy và đường tâm pittông.

A - tiết diện chảy phụ thuộc vào lượng di động y.

Do đó: $P_h = k_2 p_1 y$; k_2 - hệ số lực động lực học dầu ép.

Nếu tuyến tính hóa phương trình (13.14) và triệt tiêu các số hạng ở trạng thái ổn định, ta có:

$$m_t \Delta \ddot{y} = \left(\frac{\partial P_t}{\partial p_1} \right)_0 \Delta p_1 + \left(\frac{\partial P_t}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 + \left(\frac{\partial P_t}{\partial y} \right)_0 \Delta y - \left(\frac{\partial P_m}{\partial y} \right)_0 \Delta y - \left(\frac{\partial P_1}{\partial y} \right)_0 \Delta y - \\ - \left(\frac{\partial P_h}{\partial p_1} \right)_0 \Delta p_1 - \left(\frac{\partial P_h}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2$$

Sắp xếp lại ta được:

$$m_t \Delta \ddot{y} + \left(\frac{\partial P_m}{\partial y} \right)_0 \Delta y + \left(\frac{\partial P_1}{\partial y} + \frac{\partial P_h}{\partial y} - \frac{\partial P_t}{\partial y} \right)_0 \Delta y + \left(\frac{\partial P_h}{\partial p_1} - \frac{\partial P_t}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_1 - \left(\frac{\partial P_t}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 = 0 \quad (13.15)$$

Ta đặt:

$$u = \frac{\Delta y}{y_0}$$

$$C_0 = \left(\frac{\partial P_1}{\partial y} + \frac{\partial P_h}{\partial y} - \frac{\partial P_t}{\partial y} \right)_0 \quad [N/cm]$$

$$T_2^2 = \frac{m_t}{C_0} \quad [s^2]$$

$$T_3 = \left(\frac{\partial P_m}{\partial y} \right)_0 \frac{1}{C_0} \quad [s]$$

$$R_1 = \left(\frac{\partial P_h}{\partial p_1} - \frac{\partial P_t}{\partial p_2} \right)_0 \frac{P_{10}}{C_0 y_0}$$

$$R_2 = \left(\frac{\partial P_t}{\partial p_2} \right)_0 \frac{P_{20}}{C_0 y_0}$$

Thay các trị số trên vào phương trình (13.15), ta có:

$$T_2^2 \ddot{u} + T_3 \ddot{u} + u + R_1 n_1 - R_2 n_2 = 0 \quad (13.16)$$

(13.16) là phương trình vi phân đặc trưng cho van pittông.

b) Phương trình cân bằng lực của van bi

$$m_b \ddot{y}_1 = F_1 p_2 - \mu_b \dot{y}_1 - P_{1b} - P_{hb} \quad (13.17)$$

Ở đây: $F_1 = \frac{d_1^2 \pi}{4}$ (đường kính lỗ thoát dầu dưới viên bi (3), hình 13.12).

m_b - khối lượng của bi.

y_1 - lượng di động của bi.

μ_b - hệ số ma sát của bi.

$P_{lb} = P_{lbo} + C_{lb} y_1$ (P_{lbo} - lực căng sơ bộ của lò xo bi; C_{lb} - hằng số lò xo bi).

$$P_{lp} = \frac{2}{\sqrt{\eta}} \cos \theta, \pi d_1 y_1 p_2 = k_3 y_1 p_2$$

$$\text{Với } k_3 = \frac{2\pi d_1}{\sqrt{\eta}} \cos \theta$$

Sau khi tuyến tính hóa:

$$\begin{aligned} m_b \Delta \ddot{y}_1 &= F_1 \Delta p_2 - \mu_b \Delta \dot{y}_1 - \left(\frac{\partial P_{lb}}{\partial y_1} \right)_0 \Delta y_1 - \left(\frac{\partial P_{hb}}{\partial y_1} \right)_0 \Delta y_1 - \left(\frac{\partial P_{lb}}{\partial y_2} \right)_0 \Delta p_2 = 0 \\ m_b \Delta \ddot{y}_1 + \mu_b \Delta \dot{y}_1 + \left(\frac{\partial P_{lb}}{\partial y_1} + \frac{\partial P_{hb}}{\partial y_1} \right)_0 \Delta y_1 - \left[\left(\frac{\partial P_{lb}}{\partial y_2} \right)_0 - F_1 \right] \Delta p_2 &= 0 \end{aligned} \quad (13.18)$$

Ta đặt:

$$u_1 = \frac{\Delta y_1}{y_{10}}$$

$$C_{b0} = \left(\frac{\partial P_{lb}}{\partial y_1} + \frac{\partial P_{hb}}{\partial y_1} \right)_0 \quad [\text{N/cm}]$$

$$T_4^2 = \frac{m_b}{C_{b0}} \quad [\text{s}^2]; \quad T_5 = \frac{\mu_b}{C_{b0}} \quad [\text{s}]$$

$$R_2 = \left[\left(\frac{\partial P_{lb}}{\partial p_2} \right)_0 - F_1 \right] \frac{p_{20}}{C_{b0} y_{10}}$$

Thay các trị số trên vào phương trình (13.18) ta được:

$$T_4^2 \ddot{u}_1 + T_5 \dot{u}_1 + u_1 + R_2 n_2 = 0 \quad (13.19)$$

Đây là phương trình vi phân đặc trưng cho van bi.

c) Phương trình cân bằng lưu lượng dầu qua van bi

Lưu lượng Q_2 qua van bi bằng lưu lượng Q_4 qua lỗ tiết lưu có đường kính d (hình 13.2) và lưu lượng do pittông đẩy lên khi di động một đoạn y , tức là:

$$Q_2 = Q_4 + A_{10} \dot{y} \quad (13.20)$$

Ở đây:

$$Q_2 = \mu_1 \pi d_1 y_1 \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} p_2 = k_1 y_1 \sqrt{p_2} \quad \text{với } k_1 = \mu_1 \pi d_1 \sqrt{\frac{2g}{\gamma}}$$

$$Q_2 = \mu_2 \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} (p_1 - p_2) = k_2 \sqrt{p_1 - p_2} \quad \text{với } k_2 = \mu_2 \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2g}{\gamma}}$$

(μ_1, μ_2 - hệ số thoát dầu)

Sau khi tuyến tính hóa, phương trình (13.20) có dạng

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial Q_2}{\partial y_1} \right)_0 \Delta y_1 + \left(\frac{\partial Q_2}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 &= \left(\frac{\partial Q_4}{\partial p_1} \right)_0 \Delta p_1 + \left(\frac{\partial Q_4}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 + A_{t0} \Delta y \\ \left(\frac{\partial Q_2}{\partial p_2} - \frac{\partial Q_4}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 &= \left(\frac{\partial Q_4}{\partial p_1} \right)_0 \Delta p_1 - \left(\frac{\partial Q_2}{\partial y_1} \right)_0 \Delta y_1 + A_{t0} \Delta y \end{aligned} \right\} \quad (13.21)$$

Nếu ta đặt: $k_3 = \left(\frac{\partial Q_2}{\partial p_2} - \frac{\partial Q_4}{\partial p_2} \right)_0$ thì phương trình (13.21) có dạng:

$$\Delta p_2 = \left(\frac{\partial Q_4}{\partial p_1} \right)_0 \frac{\Delta p_1}{k_3} - \left(\frac{\partial Q_2}{\partial y_1} \right)_0 \frac{\Delta y_1}{k_3} + \frac{A_{t0}}{k_3} \Delta y$$

Sau khi lấy đạo hàm, thay trị số ở trạng thái ổn định $Q_{20} = Q_{40}$ và sắp xếp lại, ta có:

$$\frac{\Delta p_2}{p_{20}} = \frac{\Delta p_1}{p_{10}} - \frac{2(p_{10} - p_{20})}{p_{10}} \cdot \frac{\Delta y_1}{p_{10}} + \frac{2(p_{10} - p_{20})A_{t0}y_0}{p_{10} \cdot Q_{40}} \cdot \frac{\Delta y}{y_0} \quad (4.22)$$

Nếu ta đặt:

$$T_6 = \frac{2(p_{10} - p_{20})A_{t0}y_0}{p_{10}Q_{40}} \quad [s]$$

$$R_4 = \frac{2(p_{10} - p_{20})}{p_{10}}$$

thì phương trình (13.22) có dạng:

$$n_2 = n_1 - R_4 u_1 + T_6 \ddot{u} \quad (13.23)$$

Thay trị số n_2 vào phương trình (13.16) ta có:

$$T_2^z \ddot{u} + T_3 \dot{u} + u + R_1 n_1 - R_2 (n_1 - R_4 u_1 + T_6 \ddot{u}) = 0$$

Sắp xếp lại ta được:

$$T_2^z \ddot{u} + (T_3 - R_2 T_6) \dot{u} + u + (R_1 - R_2) n_1 + R_2 R_4 u_1 = 0 \quad (13.24)$$

Và dạng toán tử Laplace của phương trình đặc trưng cho van pittông là:

$$[T_2^2 s^2 + (T_3 - R_2 T_6) s + 1] U(s) + (R_1 - R_2) N_1(s) + R_2 R_4 U_1(s) = 0 \quad (13.25)$$

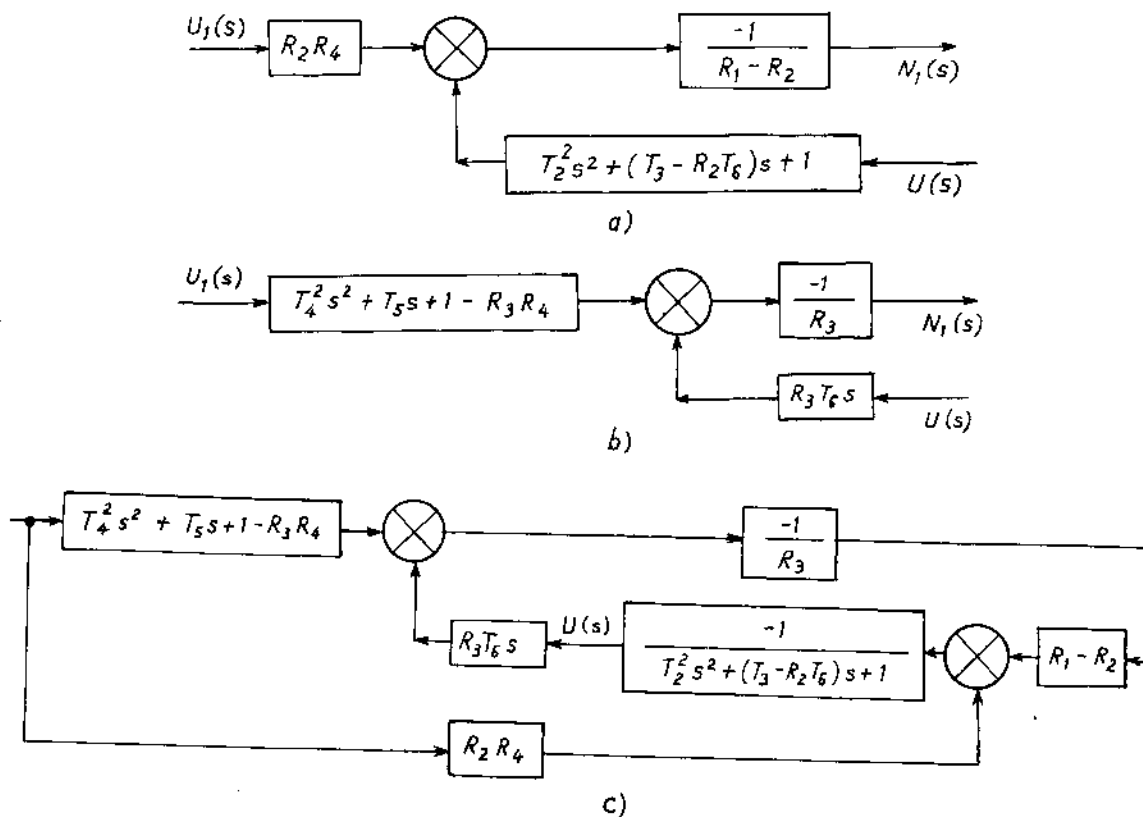
Tương tự như trên, nếu ta thay công thức (13.23) vào phương trình (13.19), ta có:

$$\begin{aligned} T_4^2 \ddot{u}_1 + T_5 \dot{u}_1 + u_1 + R_3(n_1 - R_4 u_1 + T_6 \dot{u}) &= 0 \\ T_4^2 \ddot{u}_1 + T_5 \dot{u}_1 + (1 - R_3 R_4) u_1 + R_3 n_1 + R_3 T_6 \dot{u} &= 0 \end{aligned} \quad (13.26)$$

Và dạng toán tử Laplace của phương trình đặc trưng cho van bi là:

$$(T_4^2 s^2 + T_5 s + 1 - R_3 R_4) U_1(s) + R_3 N_1(s) + R_3 T_6 s U(s) = 0 \quad (13.27)$$

Hình 13.3a là sơ đồ khối thể hiện phương trình (13.25) và hình 13.3b thể hiện phương trình (13.27). Tổng hợp hai sơ đồ khối trên là sơ đồ theo hình 13.3c biểu hiện mối quan hệ giữa các yếu tố của van tràn. Từ đây ta thấy: với sự thay đổi của tín hiệu vào $U_1(s)$ (tức là dùng vít 4 để điều chỉnh lực lò xo trên viên bi 3 ở hình 13.2 ta sẽ làm thay đổi tín hiệu ra $N_1(s)$ (tức là thay đổi áp suất p_1).



Hình 13.3. Sơ đồ khối của van tràn.

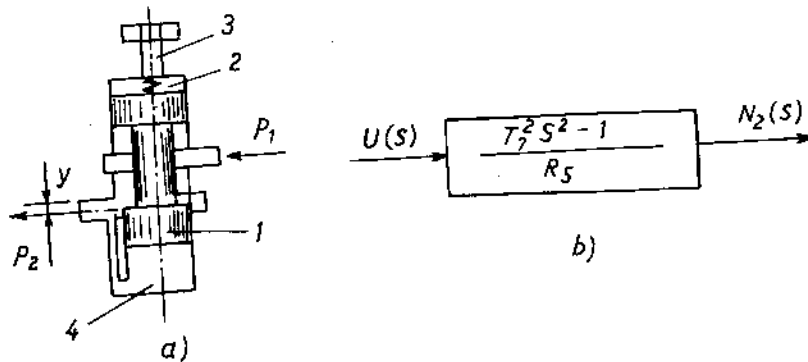
Ngược lại, áp suất p_1 được tạo thành sẽ ảnh hưởng lại việc hình thành lượng di động y tức là tín hiệu $U(s)$. Cho nên, sự hoạt động của van tràn là một hệ thống kín.

13.3. VAN GIẢM ÁP

Trong hệ thống dầu ép, thường phải dùng van giảm áp để điều chỉnh một áp suất nhất định (nhỏ hơn áp suất nguồn) cung cấp cho một cơ cấu dầu ép khác.

Van giảm áp được đặt trước cơ cấu cần áp suất thấp hơn và áp suất cần điều chỉnh là áp suất ra của van giảm áp (hình 13.4). Áp suất ra p_2 được điều chỉnh bằng cửa ra với lượng di động y đồng thời áp suất p_2 cũng được dẫn xuống phía dưới pittông (1). Nếu áp suất ra giảm quá mức yêu cầu, lò xo (2) sẽ làm tăng lượng di động y , đưa áp suất p_2 trở lại giá trị điều chỉnh.

Sự khác biệt cơ bản giữa van giảm áp và van tràn là: lò xo của van giảm áp có xu hướng mở cửa điều chỉnh, còn lò xo của van tràn thì đóng lại. Cách lập phương trình đặc trưng cho chế độ làm việc của van giảm áp cũng tương tự như ở van tràn; nhưng để đơn giản ta bỏ qua lực ma sát và lực động lực học. Trên cơ sở đó, phương trình cân bằng lực của van giảm áp là:



Hình 13.4. Sơ đồ nguyên lý a) và sơ đồ khối b) của van giảm áp.

(13.28)

$$m_c \ddot{y} = P_1 \cdot P_c = P_{10} + C_1 y \cdot A p_2$$

$$m_c \Delta \ddot{y} = \left(\frac{\partial P_1}{\partial y} \right)_0 \Delta y - \left(\frac{\partial P_c}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 = C_1 \Delta y - A \Delta p_2$$

$$m_c \Delta \ddot{y} - C_1 \Delta y + A \Delta p_2 = 0$$

$$\text{Ta đặt: } T_7^2 = \frac{m_c}{C_1} \quad [s^2]$$

$$R_5 = \frac{A p_{20}}{C_1 y_0}$$

(13.29)

$$\text{Ta có: } T_7^2 u - u - R_5 n_2 = 0$$

Viết dưới dạng toán tử Laplace:

$$(T_7^2 s^2 - 1)U(s) - R_5 N_2(s) = 0 \quad (13.30)$$

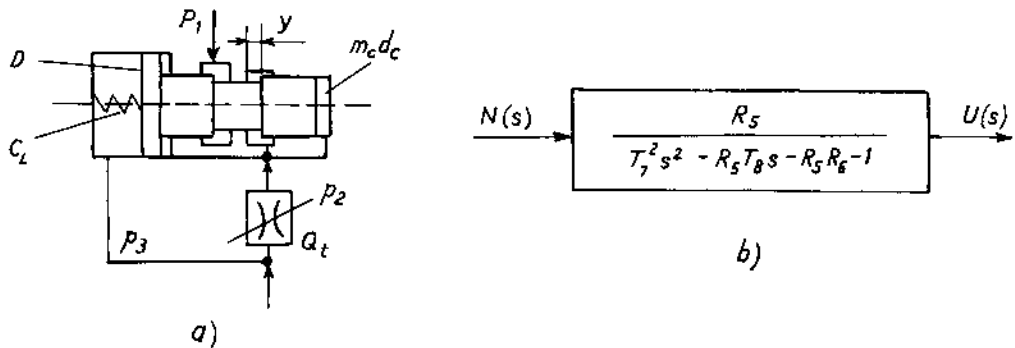
Nếu ta coi $U(s)$ là tín hiệu vào (tức là dùng vít 3 để điều chỉnh lò xo 2, hình 13.4a), thì tín hiệu ra là $N_2(s)$. Sơ đồ khối của phương trình (13.30) được thể hiện ở hình 13.4b.

Van giảm áp như trên hình 13.4 là một hệ thống dao động với tần số riêng là $\omega_0 = \sqrt{\frac{C_1}{m_c}}$. Để khắc phục nhược điểm trên, người ta thường dùng van giảm áp vi sai với lỗ tiết lưu nối liền từ buồng có áp suất p_2 với buồng có lò xo (2).

13.4. BỘ ỔN TỐC

Bộ ổn tốc bao gồm một van giảm áp và một van tiết lưu lắp nối tiếp nhau để đảm bảo một hiệu áp không đổi, và do đó, đảm bảo một lưu lượng không đổi, tức là đảm bảo vận tốc gần như không đổi của cơ cấu chấp hành.

Hình 13.5a trình bày bộ ổn tốc dùng van giảm áp vi sai. Ở đây, áp suất được giảm p_2 được dẫn đến phía dưới pittông và phía dưới đoạn pittông có đường kính lớn nhất nhằm nâng cao độ nhạy và giảm rung động khi làm việc của van.



Hình 13.5. Sơ đồ bộ ổn tốc.

Từ sơ đồ trên hình 13.5a, ta có phương trình cân bằng tĩnh:

$$p_2 A + p_2 (F - A) - p_3 F - P_1 = 0 \quad (13.31)$$

$$\text{Ở đây: } a = \frac{d^2 \pi}{4} \quad \text{và} \quad F = \frac{D^2 \pi}{4}$$

$$\text{Do đó: } \Delta p = p_2 - p_3 = \frac{P_1}{F} \quad (13.32)$$

Vì lực lò xo P và tiết diện pittông F là trị số không đổi, do đó hiệu áp của van tiết lưu là một hằng. Trên cơ sở đó, lưu lượng qua van tiết lưu theo công thức Tôrixeli:

$$Q_t = k_t \sqrt{\Delta p} = k_t \sqrt{p_2 - p_3} \quad (13.33)$$

Ở đây: k_t - hệ số chảy của van tiết lưu.

$$k_t = \mu A_x \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} \quad \text{với } \mu - \text{hệ số thoát dầu.}$$

A_x - tiết diện chảy.

Nếu cửa ra của van tiết lưu nối với bể đầu thì $p_2 \approx 0$.

Nếu ta không tính đến trọng lượng của dầu, lượng rò dầu và lượng đàn hồi của dầu thì phương trình cân bằng lưu lượng của bộ ổn tốc có thể viết:

$$Q_t = Q_g + F\dot{y} \quad (13.34)$$

Ở đây: Q_g - lưu lượng chảy qua van giảm áp.

$$Q_g = k_g y \sqrt{p_1 - p_2}$$

với k_g - hệ số chảy của van giảm áp.

Tuyến tính hóa phương trình (13.34), ta được:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial Q_t}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 &= \left(\frac{\partial Q_g}{\partial p_1} \right)_0 \Delta p_1 + \left(\frac{\partial Q_g}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 + \left(\frac{\partial Q_g}{\partial y} \right)_0 \Delta y + F\dot{y} \\ \left(\frac{\partial Q_t}{\partial p_2} - \frac{\partial Q_g}{\partial p_2} \right)_0 \Delta p_2 &= \left(\frac{\partial Q_g}{\partial p_1} \right)_0 \Delta p_1 + \left(\frac{\partial Q_g}{\partial y} \right)_0 \Delta y + F\dot{y} \end{aligned} \quad (13.35)$$

Ở trạng thái ổn định, lưu lượng qua van giảm áp bằng lưu lượng qua van tiết lưu, tức là $Q_{g0} = Q_{t0}$. Thay trị số này vào phương trình (13.35) sau khi lấy đạo hàm và sắp xếp lại ta có:

$$\frac{\Delta p_2}{p_{20}} = \frac{\Delta p_1}{p_{10}} + \frac{2(p_{10} - p_{20})}{p_{10}} \frac{\Delta y}{y_0} + \frac{2(p_{10} - p_{20})Fy_0}{p_{10}Q_{t0}} \frac{\Delta \dot{y}}{y_0} \quad (13.36)$$

Nếu ta đặt: $u = \frac{\Delta y}{y_0}$, $R_c = \frac{2(p_{10} - p_{20})}{p_{10}}$; $T_s = \frac{2(p_{10} - p_{20})Fy_0}{p_{10}Q_{t0}}$ [s] thì phương trình (13.36) có dạng:

$$n_2 = n_1 + R_c u + T_s \dot{u} \quad (13.37)$$

hoặc
$$N_2(s) = N_1(s) + (T_s s + R_c) U(s) \quad (13.38)$$

Vì ở bộ ổn tốc ta dùng van giảm áp vi sai, ở đây diện tích tác dụng của áp suất p_2 là F . Thay F vào vị trí của A ở các công thức (13.26), phương trình (13.27) có thể viết với sự thay thế trị số n_2 ở công thức (13.37):

$$T_7^2 \ddot{u} - u - R_s(n_1 + R_c u + T_s \dot{u}) = 0$$

$$T_7^2 \ddot{u} - R_5 T_8 \dot{u} - (R_5 R_0 + 1)u - R_5 n_1 = 0 \quad (13.39)$$

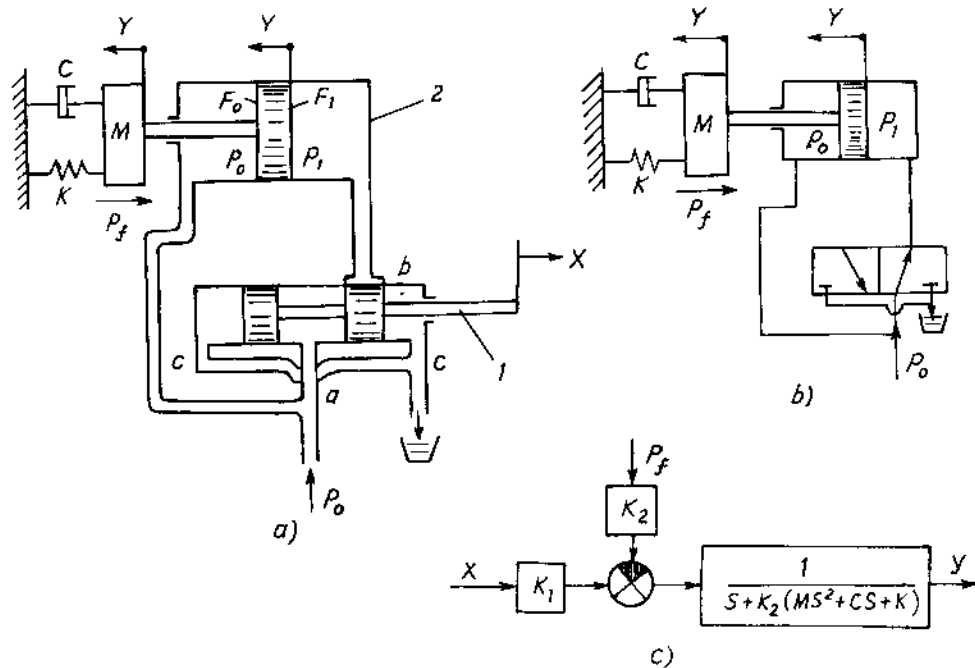
Viết dưới dạng toán tử Laplace:

$$(T_7^2 s^2 - R_5 T_8 s - R_5 R_0 - 1) U(s) = R_5 N_1(s) \quad (13.40)$$

Đây là phương trình đặc trưng cho bộ ổn áp và hình 13.5b thể hiện sơ đồ khối của phương trình (13.40).

13.5. VAN ĐIỀU KHIỂN

Van điều khiển là loại van dùng để thay đổi hướng và lưu lượng của dòng chảy, trên cơ sở đó làm thay đổi vận tốc cũng như hướng chuyển động của cơ cấu chấp hành. Bộ phận quan trọng nhất của van điều khiển là con trượt điều khiển (1) ở hình 13.6a. Tùy thuộc vào vị trí của con trượt điều khiển dưới tác động của tín hiệu điều khiển X, tiết diện chảy của van thay đổi và do đó làm thay đổi lưu lượng. Người ta phân biệt van điều khiển bằng số mép điều khiển hoặc bằng số cửa của nó.



Hình 13.6. Hệ thống dùng van điều khiển có ba cửa xilanh truyền lực.

Trường hợp van điều khiển 3 cửa

Van điều khiển ở hình 13.6a có 3 cửa: cửa (a) nối liền với áp suất P_0 ; cửa (b) nối với xilanh truyền lực (2) và cửa (c) nối với bể dầu. Do đó ta gọi van này là van điều khiển 3 cửa. Khi con trượt điều khiển (1) di động sang phải, nó chặn các cửa nối với bể dầu, đồng thời nối liền nguồn dầu với các cửa của xilanh truyền lực (2). Lúc này

cả hai buồng xilanh (2) đều chịu tác dụng của áp suất P_0 ; nhưng do bề mặt tác dụng $F_1 > F_0$ (lực tác dụng ở buồng bên phải lớn hơn bên trái) nên phụ tải M di động sang trái một lượng di động Y . Nếu con trượt (1) di động sang trái, buồng phải xilanh (2) được nối liền với bể dầu, nguồn dầu chỉ tác động lên buồng trái của xilanh (2) đẩy tải trọng M sang trái.

Trên hình 13.6a là sơ đồ của hệ thống dùng van điều khiển có 3 cửa. Van điều khiển được đặc trưng bằng hai vị trí với 2 ô vuông. Trên hình vẽ thể hiện khi con trượt điều khiển nằm ở vị trí phải. Các mũi tên chỉ hướng đi của dầu. Như ta đã biết lưu lượng dầu Q đi qua tiết diện chảy A để vào xilanh được xác định bằng công thức Tôrixeli:

$$Q = \mu A \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} (P_0 - P_1) = kX \sqrt{\Delta P}; \quad X > 0 \quad (13.41)$$

Ở đây: $\Delta P = P_0 - P_1$ là hiệu áp suất dòng dầu vào và ra khỏi tiết diện chảy [bar].

$A = C_0 X$ - tiết diện chảy; (C_0 - chu vi của cửa tiết lưu).

$$k = \mu C_0 \sqrt{\frac{2g}{\gamma}}$$

Nếu con trượt di động sang trái (ngược chiều với X) thì lượng dầu chảy ra khe hở để về bể sẽ là đại lượng âm:

$$Q = kX \sqrt{P_1}; \quad X < 0 \quad (13.42)$$

Nếu bề mặt tác dụng bên trái của pittông là F_0 và bên phải là F_1 , thì lưu lượng chảy qua van điều khiển cũng có thể được biểu thị với vận tốc: $pY = \frac{dY}{dt} = \dot{Y}$ của pittông. (Chú ý: p không có chỉ số đặc trưng cho toán tử Heaviside; p có chỉ số đặc trưng cho áp suất). Tức là:

$$Q = F_1 \cdot pY = F_1 \dot{Y} \quad (13.43)$$

Và lực tác dụng lên pittông:

$$P_x = p_1 F_1 - p_0 F_0 \quad (13.44)$$

Từ công thức (13.44) ta xác định áp suất p_1 và thay vào công thức (13.41), ta có:

$$Q = kX \sqrt{p_0 - \frac{P_x + p_0 F_0}{F_1}} \quad (13.45)$$

Thay công thức (13.43) vào (13.45) và rút ra \dot{Y} ta được:

$$\dot{Y} = \frac{Q}{F_1} = \frac{kX}{F_1} \sqrt{p_0 - \frac{P_x + p_0 F_0}{F_1}} = \frac{kX}{F_1^{3/2}} \sqrt{p_0 (F_1 - F_0) - P_x} \quad (13.46)$$

Trường hợp $X < 0$, thì thay trị số p_1 từ công thức (13.44) vào (13.42) và trị số Q vừa nhận được thay vào công thức (13.43) rút ra \dot{Y} , ta có:

$$\dot{Y} = \frac{Q}{F_1} = \frac{kX}{F_1} \sqrt{\frac{P_x + p_0 F_0}{F_1}} = \frac{kX}{F_1^{3/2}} \sqrt{P_x + p_0 F_0} \quad ; X < 0 \quad (13.47)$$

\dot{Y} trong phương trình (13.46) và (13.47) là hàm của X và P_x . Tuyến tính hóa 2 phương trình này:

$$\dot{Y} = p_y = \left. \frac{\partial \dot{Y}}{\partial X} \right|_0 X + \left. \frac{\partial \dot{Y}}{\partial P_x} \right|_0 P_x$$

Từ đây ta có:

$$\dot{Y} = \frac{K_1 X - K_2 P_x}{p} \quad (p \cdot \text{toán tử Heaviside}) \quad (13.48)$$

Ở đây trong trường hợp $X > 0$ thì:

$$\left. \frac{\partial \dot{Y}}{\partial X} \right|_0 = \frac{k}{F_1^{3/2}} \sqrt{p_0(F_1 - F_0) - P_x} = K_1 \quad (13.49)$$

$$\left. \frac{\partial \dot{Y}}{\partial P_x} \right|_0 = \frac{-kX}{2F_1^{3/2} \sqrt{p_0(F_1 - F_0) - P_x}} = -K_2 \quad (13.50)$$

Nếu $X < 0$, thì:

$$\left. \frac{\partial \dot{Y}}{\partial X} \right|_0 = \frac{k}{F_1^{3/2}} \sqrt{P_x + p_0 F_0} = K'_1 \quad (13.51)$$

$$\left. \frac{\partial \dot{Y}}{\partial P_x} \right|_0 = \frac{kX}{2F_1^{3/2} \sqrt{P_x + p_0 F_0}} = -K'_2 \quad (13.52)$$

Trường hợp tổng quát: lực quán tính của phụ tải, lực ma sát $C\dot{Y}$, lực lò xo KY và lực phụ tải ngoài P_f tác dụng ngược chiều với lực pittông P_x thì phương trình cân bằng lực sẽ là:

$$P_x = M\ddot{Y} + C\dot{Y} + KY + P_f$$

Viết dưới dạng toán tử Laplace:

$$P_x = (Ms^2 + C_s + K) Y + P_f$$

Nếu chỉ tính đại lượng thay đổi, thì:

$$P_x = (Ms^2 + C_s + K) y + p_f \quad (13.53)$$

Thay giá trị P_x vào phương trình (13.48), ta có phương trình đặc trưng cho hệ

thống van điều khiển-xilanh truyền lực:

$$s y = K_1 X - K_2 [(M s^2 + C_s + K) y + P_d]$$

$$\text{hay: } [s + K_2(M s^2 + C_s + K)] y = K_1 x - K_2 P_f \quad (13.54)$$

Sơ đồ khối của phương trình này được trình bày ở hình 13.6c.

Điều kiện để hệ thống làm việc được êm là: các hệ số K_1 , K_2 đối với $X > 0$ và $X < 0$ phải như nhau, tức là:

$$K_1 = K'_1 \text{ và } K_2 = K'_2$$

Nếu $K_1 = K'_1$ thì từ công thức (13.19) và (13.51), ta có:

$$p_0 F_1 - p_0 F_0 - P_x = P_x + p_0 F_0$$

$$\text{hay: } p_0 F_1 = 2(p_0 F_0 + P_x) \quad (13.55)$$

Nếu lực tác dụng lên pittông rất bé, từ công thức (13.55) ta có:

$$F_0 = \frac{1}{2} F_1$$

Thay trị số này vào công thức (13.44), ta được:

$$p_1 = \frac{p_0}{2} \quad (13.56)$$

Thay các trị số F_0 và p_1 trên vào công thức (13.49) và (13.51), ta có:

$$K_1 = K'_1 = \frac{k}{F_1} \sqrt{\frac{p_0}{2}} = \frac{C_1}{F_1} \quad (13.57)$$

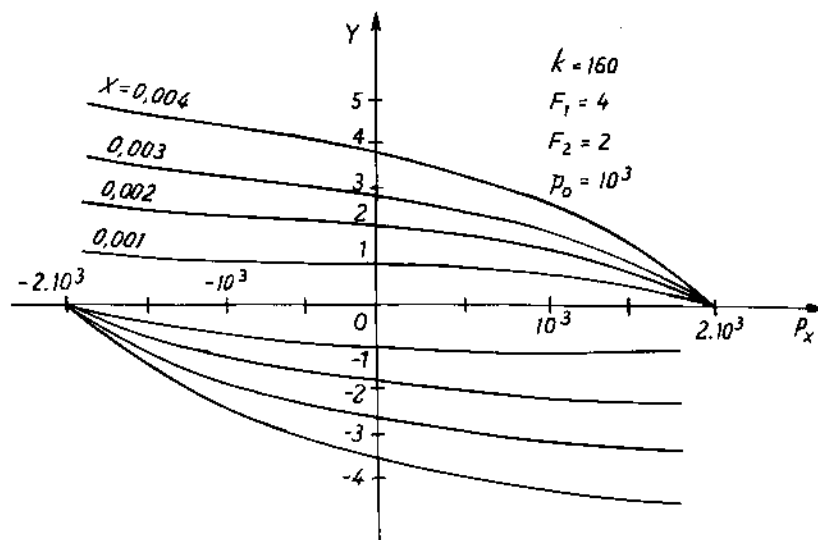
Thông thường con trượt điều khiển làm việc quanh điểm cơ sở $X_1 = 0$. Trường hợp này, tương ứng với công thức (13.50) và (13.52) ta có:

$$K_2 = K'_2 = 0$$

và do đó, công thức (13.48) sẽ là:

$$y = \frac{C_1}{F_1 p} X \quad (13.58)$$

Từ công thức (13.46) và (13.17) ta có thể xác định đường đặc tính của van điều khiển 3 cửa và thể hiện trên hình 13.7. Đường đặc tính này cũng có thể xác định từ thực nghiệm.



Hình 13.7. Đường đặc tính của van điều khiển có 3 cửa.

Mỗi đường đặc trưng cho vận tốc của dòng chảy $\left(\dot{Y} = \frac{Q}{F_1} \right)$ được hình thành trên một lượng di động X không đổi của con trượt điều khiển và tải trọng P_x được tạo nên với hiệu áp giữa hai buồng xilanh.

Từ đây ta thấy với việc tăng tải trọng P_x , vận tốc \dot{Y} (tức là lưu lượng Q chảy qua van) sẽ giảm, vận tốc pittông sẽ giảm. Nếu như lưu lượng này dẫn vào động cơ dầu thì số vòng quay của động cơ sẽ giảm. Đây là một nhược điểm của van điều khiển có 3 cửa. Đường đặc tính \dot{Y} là hàm của X và P_x . Trị số $K_1 = \left. \frac{\partial \dot{Y}}{\partial X} \right|_i$ được xác định theo phép nội suy quanh điểm làm việc. Trị số $K_2 = \left. \frac{\partial \dot{Y}}{\partial P_x} \right|_i$ không gì khác hơn là góc nâng của đường tiếp tuyến tại điểm làm việc. Vì thế, các đường đặc tính này đảm bảo cho ta khả năng xác định K_1 và K_2 một cách dễ dàng.

13.6. CƠ CẤU CHẤP HÀNH BẰNG DẦU ÉP

Cơ cấu chấp hành trong hệ thống điều khiển bằng dầu ép thông thường là xilanh truyền lực và động cơ dầu.

Trong những phần trước, chúng ta đã đề cập đến những vấn đề liên quan đến xilanh truyền lực. Ở đây, ta chỉ nghiên cứu một số vấn đề của động cơ dầu.

Về nguyên tắc kết cấu, động cơ dầu tương tự như bơm dầu. Do đó, các loại bơm

dầu đều có thể làm động cơ dầu, nếu như kết cấu của nó giải quyết được vấn đề cân bằng các lực tác dụng lên bơm. Trên thực tế, người ta dùng phổ biến nhất là động cơ dầu cánh gạt và động cơ dầu pittông, vì chúng có hiệu suất cao.

Về nguyên tắc, kết cấu của động cơ dầu giống với bơm dầu, nhưng chu trình làm việc thì ngược lại. Chu trình làm việc của nó gồm 3 bước:

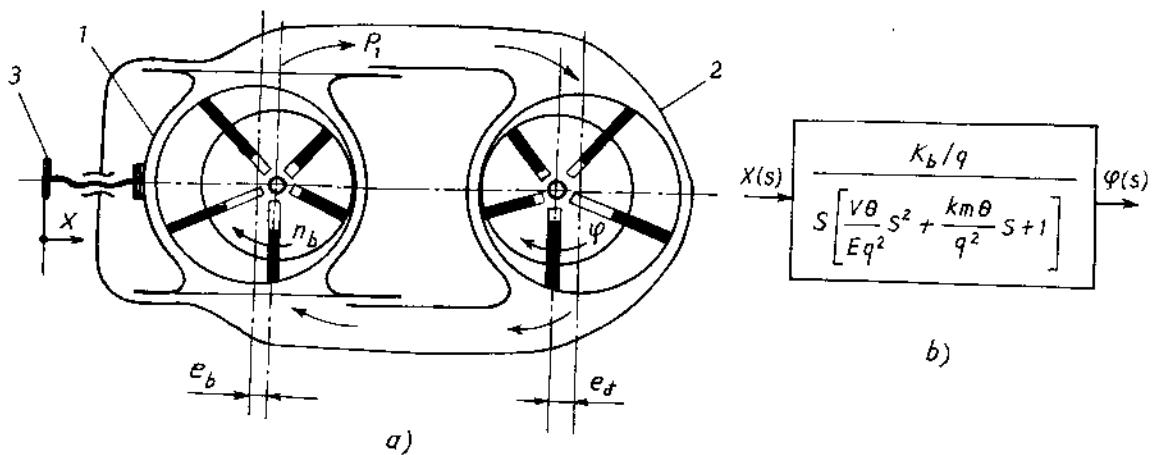
- Dầu có áp suất (do bơm dầu tạo nên) được đưa vào buồng công tác của động cơ, làm cho một bộ phận của buồng công tác di động. Chuyển động này được truyền lên trục động cơ.

- Trong quá trình quay, buồng công tác của động cơ dịch chuyển từ cửa nén sang cửa ra.

- Thể tích của buồng công tác ở cửa ra giảm dần và đẩy dầu ra ngoài.

Như thế, động cơ dầu là cơ cấu biến đổi thế năng của dầu (áp suất) thành cơ năng (số vòng quay của trục động cơ). Số vòng quay này phụ thuộc vào độ lớn và số lượng của các buồng công tác, cũng như lưu lượng dầu dẫn vào động cơ.

Thông thường, động cơ dầu và bơm dầu được lắp thành một khối truyền động và được gọi là hộp truyền động dầu ép. Ta nghiên cứu hộp truyền động dầu ép Forst - Enor như ở hình 13.8.



Hình 13.8. Sơ đồ hộp truyền động dầu ép Forst - Enor.

Ở hộp truyền động này, bơm dầu (1) và động cơ dầu (2) đều là loại cánh gạt cùng lắp chung vào một hộp. Động cơ dầu làm chức năng cơ cấu chấp hành để tạo một góc φ . Số vòng quay của động cơ dầu được điều chỉnh bằng lưu lượng Q_b đưa vào động cơ, tức là thay đổi độ lệch tâm e_b của bơm, bằng cách di động thân bơm một đại lượng X với vitme (3).

Lưu lượng của bơm dầu bao gồm các thành phần như sau:

$$Q_b = Q_d + Q_d + Q_r \quad (13.59)$$

Theo [13], lưu lượng của bơm cánh gạt được tính theo công thức:

$$Q_b = 2\pi e_b n_b (BD + 4bd) = K_b X \quad (13.60)$$

Ở đây: e_b - độ lệch tâm của bơm tương ứng với lượng di động X , ($e_b = X$).

D - đường kính stator.

n_b - số vòng quay của rotor.

B - bề rộng của cánh gạt.

b, d - chiều cao và đường kính con lăn của cánh gạt.

$$K_b = 2\pi e_b n_b (BD + 4bd).$$

Nếu ta gọi q là lưu lượng riêng của động cơ dầu (tức là lượng dầu cần thiết để quay trục động cơ một góc là một Radian) thì lưu lượng dầu dẫn qua động cơ là:

$$Q_d = q \cdot \phi \quad (13.61)$$

ở đây ϕ - góc quay của động cơ dầu.

Ta biết công cơ học do động cơ tạo nên ($M_d \phi$) bằng với công của lượng dầu dẫn đến động cơ ($P_1 Q_d$) tức là:

$$P_1 Q_d = M_d \phi \quad (13.62a)$$

Ở đây M_d - mômen của động cơ dầu.

Thay công thức (13.61) vào (13.62) ta sẽ xác định được áp suất do bơm dầu tạo nên là:

$$P_1 = \frac{M_d}{q} \quad (13.62b)$$

Biết lượng dầu rò của bơm dầu tỷ lệ thuận với áp suất do nó tạo nên, và mômen của động cơ bằng tích của mômen quán tính θ và gia tốc góc ω ($M_d = \theta \omega = \theta \ddot{\phi}$). Do đó:

$$Q_d = k_m \cdot P_1 = \frac{k_m}{q} M_d = \frac{k_m \theta}{q} \ddot{\phi} \quad (13.63)$$

Lưu lượng dầu giảm do tính đàn hồi của dầu theo công thức (13.8) là:

$$Q_r = \frac{V}{E} \dot{P}_1 = \frac{V}{Eq} \frac{dM_d}{dt} = \frac{V \theta}{Eq} \frac{d^3 \phi}{dt^3} \quad (13.64)$$

Ta biến đổi Laplace các phương trình (13.60), (13.61), (13.62), (13.63) vào (13.59) và rút gọn, ta được:

$$K_b X(s) = \left[\frac{V \theta}{Eq} s^3 + \frac{k_m \theta}{q} s^2 + qs \right] \phi(s) \quad (13.65)$$

Ở phương trình (13.65), đại lượng X được coi là tín hiệu vào và φ là tín hiệu ra, do đó có hàm truyền đạt như sau:

$$G(s) = \frac{\varphi(s)}{X(s)} = \frac{\frac{K_b}{q}}{s \left[\frac{V\theta}{Eq^2} s^2 + \frac{k_m \theta}{q^2} s + 1 \right]} \quad (13.66)$$

Sơ đồ khối của hộp truyền động dầu ép được trình bày ở hình 13.8. Từ đại lượng trong dấu móc ở mẫu số phương trình (13.66), ta có thể thấy: góc quay của động cơ dầu có thể dao động dưới tác dụng của tín hiệu vào. Sự dao động này chủ yếu do áp suất P_1 thay đổi dưới tác dụng của tổn thất lưu lượng và độ đàn hồi của dầu. Nếu môđun đàn hồi E khá lớn so với thể tích dầu V , thì phương trình (13.66), có thể đơn giản hơn:

$$G(s) = \frac{\frac{K_b}{q}}{s \left[\frac{k_m \theta}{q^2} s + 1 \right]} \quad (13.67)$$

Hộp truyền động dầu ép này chủ yếu dùng để điều chỉnh số vòng quay nếu độ lệch tâm e_d của động cơ không đổi, số vòng quay của động cơ có thể thay đổi với sự thay đổi lệch tâm của bơm dầu từ $0 \div e_{b \max}$. Trong trường hợp này công suất của động cơ dầu tăng, khi số vòng quay tăng. Cho nên, mômen được giữ ở giá trị không đổi. Phương pháp này được gọi là điều chỉnh sơ cấp.

Nếu ta giữ độ lệch tâm e_b của bơm dầu không đổi, tức là cung cấp cho động cơ dầu một lưu lượng cố định, và số vòng quay của động cơ dầu được thay đổi với sự thay đổi độ lệch tâm e_d của động cơ. Trường hợp này khi số vòng quay động cơ tăng thì công suất không đổi và mômen giảm. Kiểu điều chỉnh này được gọi là điều chỉnh thứ cấp.

Chương 14

CÂU HỎI GỢI Ý THI PHẦN ĐƯỜNG DÂY TỰ ĐỘNG

1. Nêu lý thuyết chung về năng suất lao động trong máy tự động và đường dây tự động.

2. Hiệu suất của máy tự động và ĐDTĐ.

3. Tính toán vốn đầu tư để mua một ĐDTĐ. Cho một ví dụ để minh họa.

4. Nêu những nguyên tắc cơ bản để chọn cơ cấu cấp phối, lúc nào dùng ổ, phễu, hay hỗn hợp. Cho ví dụ một loại cấp phối, nêu nguyên tắc làm việc, cách tính toán và phạm vi ứng dụng.

5. Vẽ sơ đồ phễu cấp phối rung động, cách làm việc, tính toán và phạm vi ứng dụng.

6. Hãy nêu các phương hướng, biện pháp và các bước để tự động hóa từ nền sản xuất của những nước kém phát triển.

7. Bàn về ĐDTĐ.

a) Vì sao và lúc nào thì bắt buộc phải dùng ĐDTĐ?

b) Hãy nêu cơ sở và những nguyên tắc để trang bị máy móc cho một ĐDTĐ. Cho một ví dụ cụ thể để minh họa.

c) Nêu sự khác nhau giữa đường dây vận năng và đường dây chuyên dùng.

8. Bài kiểm tra lần thứ I

Câu I: Cho một hệ thống điều khiển mực nước tự động, hình 14.

1/ Giải thích nguyên lý làm việc của hệ thống.

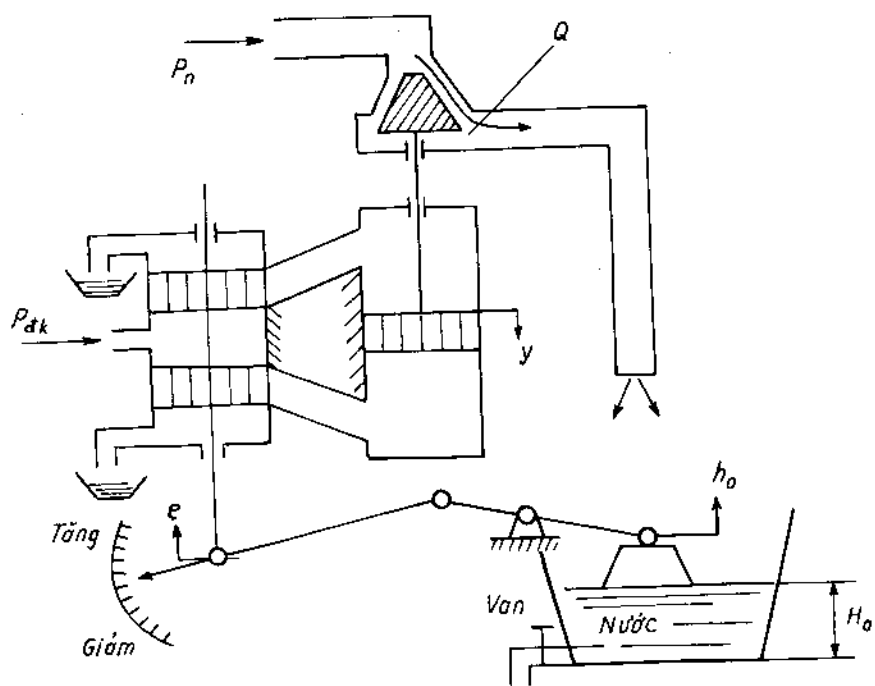
2/ Vẽ sơ đồ khối của hệ thống.

3/ Viết phương trình điều khiển và hệ số sai lệch điều khiển của hệ thống.

Câu II. Hãy viết phương trình đặc tính tổng quát của một hệ rồi dùng bảng Routh xem xét sự ổn định hay không của hệ

$$S^2(5S^2 + 3) - 2S(2S^2 - 1) + 1 = 0$$

$$2S^2(5S^2 + 2) + S(5S^2 + 3) + 2 = -1$$



Hình 14.1

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. PGS.TS. *Nguyễn Phương*
Máy công cụ tự động hóa
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1991.
2. *Nguyễn Phương*
Tính toán thiết kế máy tự động
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1974.
3. *Nguyễn Phương*
Giáo trình máy tự động
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1973.
4. PGS.TS. *Nguyễn Văn Hùng*
Máy tự động và đường dây tự động
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1978.
5. GS. *Nguyễn Ngọc Cẩn*
Điều khiển tự động
Đại học Thủ Đức - 1988.
6. GS. *Trần Văn Đắc*
Lý thuyết điều chỉnh tự động
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1953.
7. *Nguyễn Phương*
Truyền dẫn thủy lực trong máy cắt kim loại
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1964.
8. TS. *Nguyễn Ngọc Cẩn*
Truyền dẫn dầu ép trong máy cắt kim loại
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1974.
9. *Georg Brack, Friedrich Klitzsch, Rudolf Piegert*
Automatisierung in Maschinenbau
VEB Verlag Technik Berlin 1970.
10. *Berjamin S. Blanchard; Wollter J. Fabrycky*
Systems Engineering and Analysis
Prentice-Hall-Inc. Englewood cliffs, Newjersey USA 1987

11. *Ira Cochin*
Analysis and Design of dynamic Systems
Harper and Row Publisher, New York, USA 1980
12. *Ekbert Hering*
Software - Engineering
Fuedr. Vieneg and Sohn Braunschweig/Wiesbaden Germany 1992
13. *Marfred Week, Tilo Pfiester; Walter Eversheim; Wilfried Koenig;*
Wettbewerbs factor Produkti onstechnik
VDI: Verlag GmbH Duesseldorf BRD 1993
14. *Шаумян Г.А.*
Автоматические линии и автоматы
Машгиз 1978
15. *Малов. А.Н.*
Автоматические загрузки металлорежущих станков
Машгиз 1978
16. *А.Д. Владзуевский*
Автоматические линии в машиностроении (том I и II)
Машгиз 1978
17. *Nguyễn Phương*
Cấp phối tự động
Đại học Bách khoa Hà Nội, 1974.

MỤC LỤC

Trang

PHẦN 1. ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

Chương 1. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG

1.1. Lịch sử phát triển.....	5
1.2. Những khái niệm cơ bản.....	6
1.3. Sơ đồ khối của hệ thống điều khiển.....	11
1.4. Phân loại hệ thống điều khiển.....	14
1.5. Nguyên tắc điều khiển tự động.....	15

Chương 2. MÔ TẢ TOÁN HỌC CỦA PHẦN TỬ VÀ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

2.1. Mô tả toán học các phần tử điều khiển.....	20
2.2. Các phần tử cơ khí.....	21
2.3. Các phần tử điện.....	26
2.4. Phần tử dầu ép.....	28
2.5. Phần tử phi tuyến.....	29
2.6. Mô tả toán học hệ thống điều khiển.....	35
2.7. hệ thống điều khiển tổng quát.....	51

Chương 3. CÁC KHÂU ĐỘNG HỌC CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

3.1. Khái niệm về khâu động học.....	53
3.2. Trạng thái ổn định.....	54
3.3. Các khâu động học điển hình.....	56
3.4. Phản ứng của khâu động học.....	63

Chương 4. BIẾN ĐỔI LAPLACE

4.1. Cơ sở của biến đổi laplace	67
4.2. Các biến đổi cơ bản.....	68
4.3. ứng dụng biến đổi laplace	75
4.4. Biến đổi ngược	77

Chương 5. ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

5.1. Khái niệm về ổn định của hệ thống điều khiển	85
5.2. Xác định nghiệm của phương trình đặc tính	87
5.3. Tiêu chuẩn ổn định đại số	92
5.4. Tiêu chuẩn ổn định Mikhailôp	97
5.5. Tiêu chuẩn ổn định Nyquist.....	100

PHẦN II. ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG

Chương 6. TỔNG QUAN VỀ ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG

6.1. Bài mở đầu	106
6.2. Một số khái niệm cơ bản.....	107
6.3. Các bộ phận cấu thành chủ yếu của hệ thống điều chỉnh	108
6.4. Sơ đồ khối tổng quát của một hệ điều chỉnh	110
6.5. Các cơ cấu chủ yếu dùng trong hệ điều chỉnh.....	111
6.6. Những yêu cầu tổng quát đối với một quá trình điều chỉnh	112
6.7. Chất lượng điều chỉnh được đặc trưng bởi những thông số sau.....	113
6.8. Ba phương án khả dĩ để giải quyết một bài toán điều chỉnh	114
6.9. Phương pháp dùng tích phân chập	118
6.10. Khảo sát hệ điều chỉnh trong miền toán tử	119
6.11. Biến đổi laplace	122
6.12. Toán tử Heaviside	125
6.13. Hàm truyền đạt.....	126

6.14. Khảo sát hệ thống trong miền tần số (Phương pháp tần số)	128
--	-----

PHẦN III. CƠ KHÍ HÓA, TỰ ĐỘNG HÓA VÀ DÂY CHUYỀN TỰ ĐỘNG

Chương 7. CƠ SỞ KINH TẾ KỸ THUẬT CỦA TỰ ĐỘNG HÓA

7.1. Khái quát cơ bản về cơ khí hóa và tự động hóa	131
7.2. Những luận chứng kỹ thuật khi triển khai tự động hóa trong gia công cơ khí	134
7.3. Tính toán năng suất lao động	137
7.4. Nhiệm vụ của tự động hóa	140
7.5. Chế độ cắt hợp lý	146

Chương 8. HIỆU QUẢ KINH TẾ TRONG TỰ ĐỘNG HÓA

8.1. Chỉ tiêu hiệu quả kinh tế	153
8.2. Phân tích hiệu quả kinh tế	155

Chương 9. CƠ KHÍ HÓA TRONG NGÀNH CƠ KHÍ

9.1. Các khái niệm cơ bản về cấp phôi	165
9.2. Những nguyên tắc cơ bản để chọn cơ cấu cấp phôi	166
9.3. Phễu cấp phôi	167
9.4. Phễu cấp phôi rung động	168
9.5. Dùng ổ cấp phôi để CKH và TĐH trên một số máy công cụ	181
9.6. Ổ cấp phôi dùng cho máy mài	183
9.7. Ổ cấp phôi dùng cho những chi tiết trục bậc	187

Chương 10. ĐƯỜNG DÂY TỰ ĐỘNG

10.1. Vai trò các đường dây tự động (DDTD) trong ngành chế tạo máy	190
10.1. Đặc điểm và phân loại đường dây tự động	191
10.3. Điều kiện và nhiệm vụ thiết kế chế tạo DDTĐ	192
10.4. Một số vấn đề kỹ thuật cần lưu ý khi thiết kế DDTĐ	195

10.5. Bố trí đường dây tự động (ĐDTD)	198
10.6. Cơ cấu vận chuyển phôi trên ĐDTD	208
10.7. Phương pháp sử dụng cơ cấu trữ phôi ở mỗi nguyên công	219
10.8. Trữ phôi giữa các nguyên công trên đường dây tự động	220
10.9. Điều khiển đường dây tự động	224
10.10. Hệ thống bảo hiểm	227
10.11. Hệ thống điều chỉnh tự động thiết bị và dụng cụ	228
10.12. hệ thống kiểm tra chất lượng sản phẩm	229
10.13. Hệ thống điều khiển phụ	229
10.14. Phân xưởng và xí nghiệp tự động	230

PHẦN IV. BÀI TẬP ỨNG DỤNG

Chương 11. BÀI TẬP VỀ ĐIỀU CHỈNH

11.1. Phương pháp xác định phương trình vi phân và hàm trong	256
11.3. Phương pháp xác định phổ phức	259
11.4. Phương pháp xác định hàm truyền của các phần tử trong mạch điều chỉnh	260

Chương 12. BÀI TẬP VỀ ỔN ĐỊNH TRONG ĐIỀU CHỈNH

12.1. Khái niệm ổn định của một hệ điều chỉnh	273
12.2. Tiêu chuẩn ổn định Routh (Rauthơ)	274
12.3. Tiêu chuẩn ổn định của Hurwitz	276
12.4. Tiêu chuẩn ổn định Mikhailov - Lêonha	278
12.5. Phương pháp tách miền ổn định D (còn gọi là phương pháp khảo sát ổn định của Noimac - Mayorop.	280
12.6. Tiêu chuẩn ổn định Nyquist (NAIQUYST)	283

Chương 13. HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN BẰNG DẦU ÉP

13.1. Bơm dầu.....	292
13.2. Van tràn, van an toàn	297
13.3. Van giảm áp	302
13.4. Bộ ổn tốc	303
13.5. Van điều khiển	305
13.6. Cơ cấu chấp hành bằng dầu ép	310

Chương 14. CÂU HỎI GỢI Ý THI PHẦN ĐƯỜNG DÂY TỰ ĐỘNG (ĐDTD)

Tài liệu tham khảo.....	294
-------------------------	-----

15-10-1956
15-10-2006

KỶ NIỆM 50 NĂM THÀNH LẬP
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

205352

cơ sở tự động hoá trong



GIÁ: 53.000 VND